

**OPTIMALISASI BIAYA TRANSPORTASI PADA PENGIRIMAN
BAHAN TIMBUNAN DENGAN METODE *MIXED INTEGER
INTEGER LINEAR PROGRAMMING* DI PROYEK PEMBANGUNAN
TOL GEMPOL–PASURUAN**

**SKRIPSI
TEKNIK INDUSTRI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AMELIA ANGGRAINI
NIM 145060701111002**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

**OPTIMALISASI BIAYA TRANSPORTASI PADA PENGIRIMAN
BAHAN TIMBUNAN DENGAN METODE *MIXED INTEGER
INTEGER LINEAR PROGRAMMING* DI PROYEK PEMBANGUNAN
TOL GEMPOL–PASURUAN**

**SKRIPSI
TEKNIK INDUSTRI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**AMELIA ANGGRAINI
NIM 145060701111002**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 11 Januari 2018

Mahasiswa



Amelia Anggraini

NIM. 145060701111002

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMALISASI BIAYA TRANSPORTASI PADA PENGIRIMAN BAHAN TIMBUNAN DENGAN METODE *MIXED INTEGER LINEAR* *PROGRAMMING* DI PROYEK PEMBANGUNAN TOL GEMPOL- PASURUAN

SKRIPSI

TEKNIK INDUSTRI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



AMELIA ANGGRAINI

NIM. 145060701111002

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada
tanggal 12 Januari 2018

Dosen Pembimbing I

Arif Rahman, ST., MT.
NIP. 197405282008011010

Dosen Pembimbing II

Suluh Elman Swara, ST., MT.
NIP. 2016098708181001

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Industri**

Oyong Novareza, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197411152006041002

PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Optimalisasi Biaya Transportasi pada Pengiriman Bahan Timbunan dengan Metode *Mixed Integer Linear Programming* di Proyek Pembangunan Tol Gempol–Pasuruan”** dengan baik.

Skripsi ini disusun sebagai bagian dari proses memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Setelah melewati berbagai tahapan, skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan, semangat, motivasi, dan dorongan dari berbagai pihak. Penulis sepatutnya menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.
2. Orang tua terkasih, Bapak Agung Pambudi dan Mama Erma Prihartini yang telah memberikan doa serta dukungannya tanpa henti sehingga penulis termotivasi untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Oyong Novareza, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya.
4. Bapak Arif Rahman, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing I atas kesediaannya dalam meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan masukan dan saran, serta arahan yang sangat berharga bagi penulis selama masa pengerjaan skripsi.
5. Bapak Suluh Elman Swara, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing II atas kesediaannya dalam meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan masukan dan saran, serta arahan yang sangat berharga bagi penulis selama masa pengerjaan skripsi.
6. Ibu Rahmi Yuniarti, ST., MT. sebagai Kepala Laboratorium Simulasi dan Aplikasi Industri yang telah mendukung serta mendoakan anak-anaknya di dalam Laboratorium Simulasi dan Aplikasi Industri.
7. Bapak Angga Akbar Fanani, ST., MT. sebagai Dosen Pembimbing Akademik atas masukan, bimbingan, bantuan serta arahan selama masa studi penulis di Jurusan Teknik Industri.
8. Bapak dan Ibu Dosen, serta karyawan Jurusan Teknik Industri yang telah membagi ilmu akademik maupun non-akademik dan berbagai pengalaman hidup selama dalam dunia perkuliahan.

9. Bapak Ir. Sunardi dan Bapak Jati Irawan sebagai pembimbing lapangan yang sangat baik dan sabar selama penulis melakukan penelitian dan atas bantuan informasi yang diberikan kepada penulis.
10. Teman-teman semenjak awal kuliah Alberta Puspitasari dan Maria Denna yang selalu memberikan semangat, motivasi, bantuan, teguran dan selalu menemani dalam suka maupun duka selama menjadi mahasiswa Teknik Industri.
11. Teman kembaran saya yang hampir di satu angkatan tidak ada yang bisa membedakan Putri Nur 'Aini A. I. yang selalu menjadi tempat pencurahan hati penulis dan selalu menemani penulis dalam suka maupun duka.
12. Teman-teman seperjuangan Geraldly, Matias, Chrisna, Cokorda, Daus, Revardy, dan Endion yang tiada hentinya menemani penulis dalam suka maupun duka.
13. Teman-teman Asisten Laboratorium Simulasi dan Aplikasi Industri Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik angkatan 2014 Ulvatuz, Setya, Yudan, Nika, Nado, Meylanya, dan Indah yang selalu memberikan dorongan dan semangat untuk menyelesaikan kuliah.
14. Teman seperjuangan penelitian di Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan, Firyal yang telah memberikan bantuan, dan saran dalam pengerjaan skripsi.
15. Seluruh teman-teman angkatan 2014 Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya atas kebersamaan, semangat, doa, dan kerjasama selama ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna karena keterbatasan ilmu dari penulis dan kendala-kendala yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di waktu yang akan datang. Harapan penulis, tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk penelitian dan pengembangan yang lebih lanjut.

Malang, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	xi
SUMMARY	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Rumusan Masalah	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Asumsi Penelitian	5
1.6 Tujuan Penelitian	6
1.7 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Transportasi	8
2.2.1 Pengertian dan Fungsi Transportasi	8
2.2.2 Metode Transportasi	9
2.3 <i>Integer Linear Programming</i>	10
2.3.1 Komponen Model <i>Integer Linear Programming</i>	10
2.3.2 Bentuk Baku Model <i>Integer Linear Programming</i>	10
2.3.3 Asumsi-Asumsi <i>Integer Linear Programming</i>	11
2.3.4 Solusi Model <i>Integer Linear Programming</i>	12
2.4 LINGO	12
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	15
3.2 Tahap Pengumpulan Data	15
3.2.1 Tahap Penelitian Pendahuluan	15
3.2.2 Metode Pengumpulan Data	16
3.2.3 Pengolahan Data	17

3.3 Langkah-Langkah Penelitian	17
3.4 Diagram Alir Penelitian	18
3.5 Algoritma Penelitian	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Gambaran Umum PT. Utama Karya (Persero)	21
4.1.1 Badan Usaha dan Bidang Usaha	22
4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan	23
4.1.2.1 Visi PT. Utama Karya (Persero).....	23
4.1.2.2 Misi PT. Utama Karya (Persero).....	23
4.1.3 Organisasi dan Manajemen.....	23
4.2 Sistem Pengiriman <i>Existing</i> PT. Utama Karya (Persero)	25
4.3 Pengumpulan Data	25
4.3.1 Data Zona Proyek dan Volume Dibutuhkan	25
4.3.2 Data Lokasi dan Kapasitas <i>Quarry</i>	26
4.3.3 Data Kendaraan yang Digunakan.....	26
4.3.4 Data Operasional Pengiriman.....	27
4.3.5 Data Biaya-Biaya Transportasi	27
4.4 Pengolahan Data	27
4.4.1 Formulasi Model <i>Linear Programming</i>	27
4.4.2 Formulasi Model pada LINGO 11.0	30
4.4.3 Verifikasi Model	31
4.4.4 Hasil <i>Running</i> Model	32
4.4.5 Validasi Model	36
4.5 Analisis dan Pembahasan	38
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Volume Kapasitas dari Setiap <i>Quarry</i> yang digunakan	3
Tabel 1.2	Jarak dari Setiap <i>Quarry</i> Terhadap Zona Kerja Proyek	4
Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan.....	8
Tabel 4.1	Kapasitas dan Jarak Setiap <i>Quarry</i> Terhadap Zona Proyek	26
Tabel 4.2	Biaya Pengiriman Bahan Timbunan dari <i>Quarry</i> Menuju Zona Proyek.....	27
Tabel 4.3	<i>Output Software</i> LINGO 11.0 untuk Variabel X_{ijkl}	33
Tabel 4.4	<i>Output Software</i> LINGO 11.0 untuk Variabel M_{ijkl}	34
Tabel 4.5	Rute Pengiriman Bahan Timbunan untuk Masing-Masing Truk	35
Tabel 4.6	Perbandingan Kapasitas Masing-Masing <i>Quarry</i>	36
Tabel 4.7	Jumlah Keberangkatan atau Pelayanan yang dilakukan.....	37
Tabel 4.8	Perbandingan Kapasitas <i>Quarry</i> Hasil Perhitungan dan Kondisi Nyata	37
Tabel 4.9	Perbandingan <i>Demand</i> Hasil Perhitungan dan Kondisi Nyata	38
Tabel 4.10	Penempatan Truk pada Masing-Masing <i>Quarry</i> dan yang Tidak digunakan...	40
Tabel 4.11	Perbandingan Antara Kondisi <i>Existing</i> dengan Hasil Rekomendasi.....	41

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Zona kerja Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan.....	1
Gambar 1.2	Rencana kebutuhan bahan timbunan dari tiap zona proyek.....	2
Gambar 1.3	Distribusi material dari setiap <i>quarry</i> terhadap zona kerja proyek.....	3
Gambar 2.1	Tampilan awal program LINGO 11.0.....	13
Gambar 2.2	Tampilan <i>script</i>	13
Gambar 2.3	<i>Output</i> LINGO 11.0	14
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	19
Gambar 4.1	Struktur organisasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan	24
Gambar 4.2	Tampilan koding untuk model permasalahan pengiriman bahan timbunan	30
Gambar 4.3	Tampilan yang muncul jika tidak terdapat <i>error</i> pada model.....	31
Gambar 4.4	Hasil <i>running</i> model pengiriman bahan timbunan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan.....	32

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Koding pada LINGO 11.0 Permasalahan Pengiriman Bahan Timbunan ...	47
Lampiran 2	<i>Output Software</i> LINGO 11.0 Untuk Variabel X_{ijkl}	49
Lampiran 3	<i>Output Software</i> LINGO 11.0 Untuk Variabel M_{ijkl}	61
Lampiran 4	Rute Rekomendasi untuk Pengiriman Bahan Timbunan Proyek.....	73

Halaman ini sengaja dikosongkan

RINGKASAN

Amelia Anggraini, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2018, *Optimalisasi Biaya Transportasi pada Pengiriman Bahan Timbunan dengan Metode Mixed Integer Linear Programming di Proyek Pembangunan Tol Gempol-Pasuruan*, Dosen Pembimbing: Arif Rahman dan Suluh Elman Swara.

PT. Hutama Karya (Persero) yang merupakan perusahaan BUMN dimana perusahaan ini menerima jasa untuk membangun atau membuat infrastruktur baik membangun gedung, jalan, jembatan, bandara maupun lainnya. Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol-Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang-Pasuruan merupakan salah satu proyek yang sedang dikerjakan oleh PT. Hutama Karya (Persero) yang bekerja sama dengan PT. Transmarga Jatim Pasuruan yang memiliki waktu pelaksanaan selama 240 hari kalender. Proyek ini dibagi kedalam tiga zona yaitu Zona 1, Zona 2 dan Zona 3. Pada aktivitas Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol-Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang-Pasuruan, kegiatan utama yang dilakukan adalah kegiatan penimbunan. Pada kegiatan penimbunan ini durasi yang diberikan yaitu hanya selama 150 hari kalender. Pada kegiatan penimbunan ini memiliki persentase pengerjaan yang cukup besar jika dibandingkan dari keseluruhan kegiatan yang berada dalam penyelesaian Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol-Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang-Pasuruan sehingga pekerjaan ini dapat dikategorikan sebagai pekerjaan yang vital. Semakin besar dan lamanya durasi waktu pengerjaan suatu kegiatan maka dapat dipastikan biaya yang akan dikeluarkan juga akan semakin besar.

Pada penelitian ini dilakukan optimalisasi dengan menggunakan metode *Mixed Integer Linear Programming* untuk mengetahui biaya transportasi, jumlah truk yang digunakan serta rute pengiriman bahan timbunan. Variabel keputusan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu X_{ijkl} merupakan variabel biner yang akan bernilai 1 jika *quarry i* menuju zona proyek *j* dengan truk *k* pada ritase *l* melakukan pengiriman dan bernilai 0 jika tidak, M_{ijkl} menyatakan kemampuan pengiriman bahan timbunan dari *quarry i* menuju zona proyek *j* dengan truk *k* pada ritase *l*, dan R_k menyatakan jumlah truk yang digunakan untuk pengiriman. Langkah selanjutnya yaitu melakukan perhitungan berdasarkan formulasi matematis yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Pada proses perhitungan ini agar mempermudah penyelesaian maka digunakan bantuan *software* optimasi yaitu LINGO 11.0 dengan versi *unlimited*.

Penelitian menunjukkan bahwa *dump truck* yang dapat digunakan yaitu sebanyak 342 armada dari 350 armada yang dioperasikan sehingga terdapat penghematan jumlah armada truk yang digunakan sebanyak 8 truk serta penentuan rute pengiriman bolak-balik untuk masing-masing truk yang optimal. Pada penelitian ini diketahui bahwa terjadi penghematan sebesar 6,39% atau senilai Rp. 1.136.566.650,00 untuk biaya transportasi pengiriman bahan timbunan ke masing-masing zona proyek.

Kata Kunci: Optimasi, Transportasi, Minimasi Biaya, *Mixed Integer Linear Programming*

Halaman ini sengaja dikosongkan

SUMMARY

Amelia Anggraini, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, January 2018, Optimization of Transportastion Cost on Stockpiles Delivery in Gempol-Pasuruan Toll Road Project by Mixed Integer Linear Programming Method, Academic supervisor: Arif Rahman and Suluh Elman Swara.

PT. Hutama Karya (Persero) is a state-owned company that provides services to build infrastructure such as buildings, roads, bridges, airports and others. Toll Road Development Project Gempol-Pasuruan, Section II Rembang-Pasuruan is one of the 240 calendar days projects getting done by PT. Hutama Karya (Persero) in cooperation with PT. Transmarga Jatim Pasuruan. The project is divided into three zones namely Zone 1, Zone 2 and Zone 3. In the activity of Gempol-Pasuruan Toll Road Project, Section II of Rembang-Pasuruan Range, the main activities undertaken are the hoarding activities. The duration given for hoarding activities is only 150 calendar days. This hoarding activity has a significant percentage compared to the overall activities of Toll Road Project Gempol-Pasuruan, Section II Ruas Rembang-Pasuruan so this work can be categorized as a vital job. The greater the length and duration of the working time, it is certain that the cost incurred will also be greater.

In this research, optimization is done by using Mixed Integer Linear Programming method to calculate the transportation cost, the number of trucks used and the delivery route of the embankment material. The decision variable used in this study is X_{ijkl} , a binary variable that will be worth 1 if the quarry i goes to the j project zone with the truck k at ritase l does the delivery and is 0 if it does not, M_{ijkl} states the delivery capacity of the pile material from the quarry i to the project zone j with the truck k at ritase l , and R_k states the number of trucks used for delivery. The next step is to do the calculation based on the mathematical formulation that has been made in the previous stage. The calculation process is done using the optimization software, LINGO 11.0 with unlimited version.

Research shows that 342 trucks can be used out of available 350 trucks which means there are savings on the number of trucks used as many as 8 trucks. This research also determines the optimal round-trip delivery routes for each truck. This study shows there is a 6.39% saving worth Rp. 1.136.566.650,00 of transportation cost of embankment material to each project zone.

Keywords: Optimization, Transportation, Cost Minimization, Mixed Integer Linear Programming

Halaman ini sengaja dikosongkan

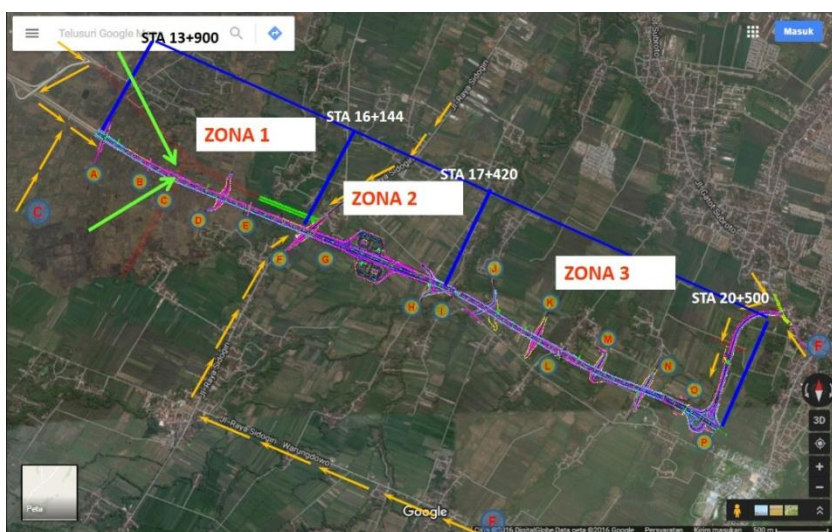
BAB I

PENDAHULUAN

Sebelum melaksanakan penelitian perlu ditentukan dasar pelaksanaan penelitian. Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang mengapa permasalahan ini diangkat, identifikasi masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan asumsi.

1.1 Latar Belakang

Penerapan ilmu teknik industri tidak hanya dapat dilakukan di perusahaan manufaktur saja tetapi juga dapat dilakukan pula di perusahaan jasa. Salah satu contoh perusahaan jasa dibidang konstruksi yaitu PT. Hutama Karya (Persero) yang merupakan perusahaan BUMN dimana perusahaan ini menerima jasa untuk membangun atau membuat infrastruktur baik membangun gedung, jalan, jembatan, bandara maupun infrastruktur lainnya. Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan merupakan salah satu proyek yang sedang dikerjakan oleh PT. Hutama Karya (Persero) yang bekerja sama dengan PT. Transmarga Jatim Pasuruan yang memiliki waktu pelaksanaan selama 240 hari kalender dengan nilai kontrak sebesar Rp. 417.800.000.000 (sudah termasuk PPn). Proyek ini dibagi kedalam tiga zona yaitu Zona 1, Zona 2 dan Zona 3. Untuk gambaran lebih jelas mengenai pembagian zona kerja Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan dapat dilihat pada Gambar 1.1.

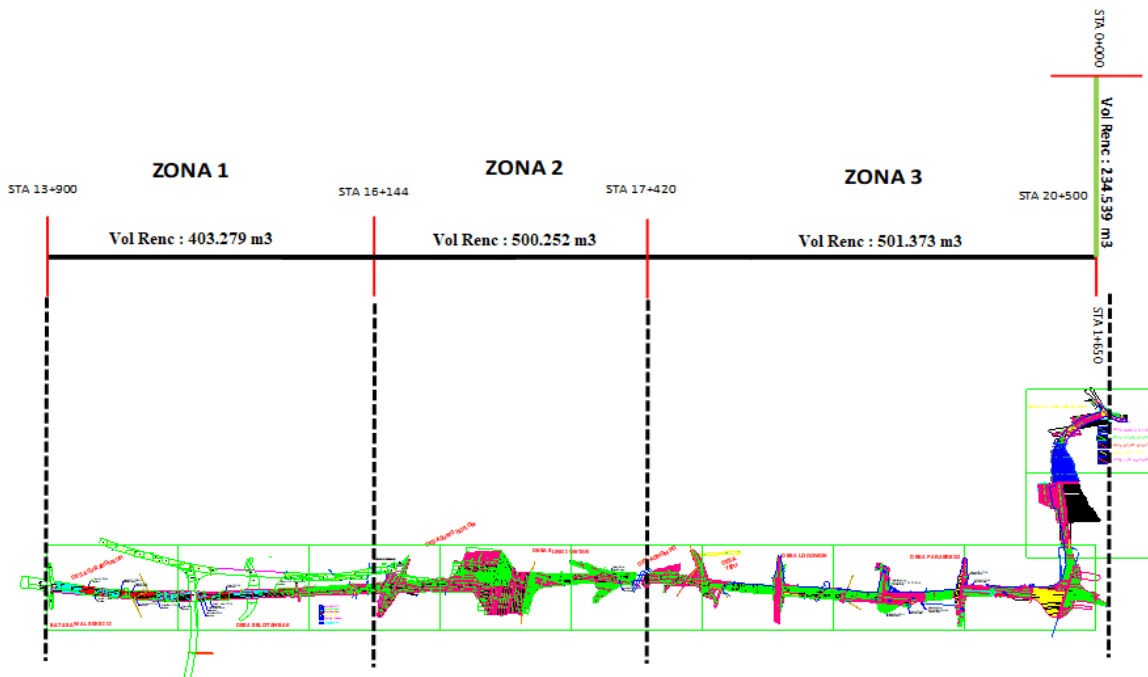


Gambar 1.1 Zona kerja Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan

Sumber: Data sekunder PT. Hutama Karya (Persero) (2017)

Aktivitas dalam suatu proyek sangatlah banyak dan antar aktivitas tersebut memiliki hubungan keterkaitan satu sama lain, sehingga jika terjadi permasalahan disalah satu aktivitas dapat mempengaruhi waktu penyelesaian dari keseluruhan proyek atau bahkan dapat membuat terjadinya suatu keterlambatan penyelesaian proyek. Pada aktivitas proyek terutama pembangunan jalan tol seperti Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan, kegiatan utama yang dilakukan adalah kegiatan penimbunan sebagai lapisan awal membuat jalan. Pada kegiatan penimbunan ini durasi yang diberikan atau yang disediakan yaitu hanya selama 150 hari kalender atau dengan kata lain 5 bulan pengerjaan dari waktu pengerjaan tersedia 8 bulan kerja. Pada kegiatan penimbunan ini memiliki persentase pengerjaan yang cukup besar jika dibandingkan dari keseluruhan kegiatan yang berada dalam penyelesaian Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan sehingga pekerjaan ini dapat dikategorikan sebagai pekerjaan yang vital. Semakin besar dan lamanya durasi waktu pengerjaan suatu kegiatan maka dapat dipastikan biaya yang akan dikeluarkan juga akan semakin besar.

Pada kegiatan penimbunan proyek memerlukan bahan material sebagai bahan timbunan atau bahan pondasi sebelum dibuatnya jalan. Untuk lebih jelas dalam memahami kebutuhan bahan timbunan dari masing-masing zona proyek, Gambar 1.2 menunjukkan permintaan atau kebutuhan bahan timbunan dari masing-masing zona proyek.



Gambar 1.2 Rencana kebutuhan bahan timbunan dari tiap zona proyek
Sumber: Data sekunder PT. Hutama Karya (Persero) (2017)

Timbunan yang digunakan dalam proyek ini adalah batu dan pasir yang diambil dari empat tambang disekitar proyek. Tambang atau *quarry* yang digunakan antara lain *quarry* Wonokerto, *quarry* Bulusari, *quarry* Summersuko dan *quarry* Paserepan. Gambar 1.3 menunjukkan jalur pendistribusian material dari *quarry* yang telah ditetapkan terhadap zona proyek yang sedang dilaksanakan.



Gambar 1.3 Distribusi material dari setiap *quarry* terhadap zona kerja proyek
Sumber: Data Sekunder PT. Utama Karya (Persero) (2017)

Masing-masing *quarry* atau tambang ini memiliki kapasitas volume ketersediaan bahan material yang berbeda-beda. Data pada Tabel 1.1 menunjukkan kapasitas volume tersedia untuk setiap *quarry*.

Tabel 1.1
Volume Kapasitas dari Setiap *Quarry* yang Digunakan

No.	<i>Quarry</i>	Kapasitas (m ³)
1.	Wonokerto	3.050.000
2.	Bulusari	12.100.050
3.	Sumbersuko	3.015.200
4.	Paserepan	16.501.000

Sumber: Data sekunder PT. Utama Karya (Persero) (2017)

Kegiatan penimbunan ini nantinya akan memindahkan bahan timbunan dari tambang atau *quarry* awal menuju zona proyek dituju yang dimana dalam proyek ini terbagi kedalam tiga zona, sehingga jarak antara *quarry* dengan lokasi proyek dituju pun turut ikut andil dalam mempengaruhi proses pengiriman bahan material ke lokasi proyek yang dituju maupun dari segi biaya transportasi pengiriman bahan timbunan. Pada Tabel 1.2 ditunjukkan jarak dari setiap *quarry* ke masing-masing zona kerja proyek.

Tabel 1.2

Jarak dari Setiap *Quarry* Terhadap Zona Kerja Proyek

No.	<i>Quarry</i>	Zona 1 (Km)	Zona 2 (Km)	Zona 3 (Km)
1.	Wonokerto	5	7,3	9,5
2.	Bulusari	23,4	28,1	29,9
3.	Sumbersuko	22,2	25,3	27,4
4.	Paserepan	26	21	19,4

Sumber: Data sekunder PT. Utama Karya (Persero) (2017)

Pengiriman timbunan dari masing-masing tambang dilakukan dengan menggunakan bantuan truk sebagai alat transportasi pengiriman ke masing-masing zona. Jenis truk yang digunakan yaitu truk dengan kapasitas muatan sebesar 8 m³ dengan armada yang dimiliki oleh perusahaan yaitu sebanyak 350 unit. Pengiriman timbunan yang dilakukan oleh perusahaan saat ini yaitu dengan menggunakan keseluruhan unit armada yang tersedia untuk pengiriman dalam sehari dengan sekali jalan dari semua *quarry* dengan rute yang disesuaikan dengan permintaan atau adanya pesanan dari masing-masing zona proyek. Terkadang terjadi keterlambatan dimana bahan timbunan yang diperlukan tak kunjung datang sedangkan pekerja di zona proyek tertentu harus segera menyelesaikan target yang telah ditentukan sehingga waktu pengerjaan proyek tertunda selama beberapa waktu sampai dengan bahan timbunan yang dipesan datang. Perlu diketahui juga untuk saat ini biaya yang dikeluarkan oleh pihak kontraktor untuk pengiriman bahan timbunan yaitu sebesar Rp. 18.935.566.650,00.

Permasalahan yang terjadi pada proyek ini diantaranya yaitu tidak diketahuinya berapa banyak truk yang harus digunakan pada setiap kali pengangkutan dan tidak diketahuinya rute pengangkutan bahan timbunan yang dimana dapat meminimasi ongkos maupun biaya yang dikeluarkan oleh proyek.

Metode yang dapat digunakan salah satunya yaitu *linear programming* dikarenakan tujuan dari permasalahan transportasi ini ingin mengetahui biaya yang paling optimal atau dengan kata lain ingin meminimasi biaya dari pengiriman bahan timbunan dengan *constrain* yang ada seperti jumlah dari truk yang digunakan, kebutuhan dari masing-masing zona proyek, jarak antara *quarry* dengan zona proyek, dan jumlah ritase pengiriman dalam sehari. Berdasarkan beberapa penjelasan yang telah disebutkan sebelumnya diatas maka penggunaan metode *mixed integer linear programming* dirasa cocok untuk menyelesaikan permasalahan ini.

Hasil penelitian yang diharapkan dari terselesaikannya permasalahan ini yaitu didapatkannya jumlah truk yang optimal dengan rute perjalanan yang optimal sehingga dapat meminimasi ongkos ataupun biaya yang dikeluarkan oleh Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan sebelumnya, maka dapat diidentifikasi permasalahan yang terjadi sebagai berikut:

1. Tidak diketahui jumlah truk yang optimal untuk digunakan mengangkut timbunan.
2. Tidak diketahui *trajectory* yang dapat meminimasi biaya transportasi.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah, maka permasalahan pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa banyak jumlah truk yang optimal untuk pengiriman bahan timbunan?
2. Bagaimana rute optimal yang dapat dilakukan oleh perusahaan?
3. Berapa biaya transportasi yang optimal dari permasalahan transportasi bahan timbunan ini?

1.4 Batasan Masalah

Untuk memperoleh analisis yang baik dan agar analisis lebih terarah maka diperlukan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Proses yang diamati hanya pada kegiatan mobilisasi pengangkutan bahan material mulai keberangkatan truk dari *quarry* ke zona proyek sampai dengan kembalinya truk ke *quarry* tempat keberangkatan.
2. Waktu operasional pengangkutan bahan material timbunan dimulai dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 18.00.

1.5 Asumsi Penelitian

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Waktu *load/ unload* diabaikan.
2. *Dump truck* yang digunakan selalu *ready*.
3. Tidak terjadi perubahan permintaan dari masing-masing zona proyek.
4. Mengabaikan faktor-faktor eksternal yang dapat menghambat pengiriman bahan timbunan (hujan, cuaca buruk, dan demonstrasi pekerja).
5. Jarak pengiriman bolak-balik sama.

1.6 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah sebelumnya, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Menentukan banyaknya truk dalam satu hari pengiriman bahan timbunan.
2. Mengetahui *trajectory* pengiriman bahan timbunan yang dapat meminimasi biaya transportasi.
3. Mengetahui biaya transportasi yang optimal dari pengiriman bahan timbunan dengan menggunakan alat transportasi truk.

1.7 Manfaat Penelitian

Dengan dilaksanakannya penelitian ini diharapkan dapat diperoleh manfaat sebagai berikut.

1. Membantu dalam menentukan jumlah truk dan rute perjalanan truk dalam setiap pengiriman bahan material untuk pekerjaan timbunan yang optimal dengan mempertimbangkan kapasitas armada yang tersedia.
2. Membantu meminimasi biaya transportasi untuk pekerjaan timbunan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penelitian yang dilaksanakan, diperlukan dasar-dasar argumentasi ilmiah yang berhubungan dengan konsep-konsep yang dipermasalahkan dalam penelitian dan akan dipakai dalam analisis. Dalam bab ini akan dijelaskan beberapa dasar-dasar argumentasi atau teori yang digunakan dalam penelitian.

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu memaparkan beberapa konsep relevan yang berhubungan dengan penelitian ini. Rangkuman penelitian terdahulu dan perbandingan dengan penelitian saat ini terdapat pada Tabel 2.1.

1. Yusuf, *et al.* (2011) melakukan sebuah penelitian untuk mengetahui rute pengiriman pupuk bagi distributor dari gudang PT. Pupuk Sriwidjaja. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan rute alternatif pengiriman pupuk yang dapat meminimasi biaya transportasi dari sistem awal perusahaan yang ada (*existing*). Pada masalah penentuan rute kendaraan (*Vehicle Routing Problem*) ini digunakan model optimisasi *mixed integer linear programming* dalam penyelesaian model rute untuk pengiriman pupuk.
2. Wibawa (2013) melakukan sebuah penelitian untuk mengetahui alokasi jalur pendistribusian gula pasir dari PT. Madubaru ke daerah tujuan yang optimal. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan selisih biaya yang dikeluarkan perusahaan sebelum dan sesudah diketahuinya alokasi jalur distribusi yang optimal untuk pengiriman gula pasir dari PT. Madubaru. Pada permasalahan ini peneliti menggunakan model optimisasi *linear programming* untuk menyelesaikan permasalahan pendistribusian gula pasir ini.
3. Nurmalatya (2017) melakukan sebuah penelitian untuk mengetahui penentuan jumlah truk yang digunakan dan penjadwalan pengiriman beras RASKIN pada Perum BULOG Sub Divre Surabaya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan penjadwalan pengiriman yang optimal sesuai dengan tenggat waktu yang telah ditetapkan oleh perusahaan yaitu selama 20 hari dengan memaksimalkan armada truk yang tersedia oleh pihak Perum BULOG. Pada permasalahan ini digunakan model

optimisasi *integer programming* untuk mengetahui jumlah truk yang optimal untuk melakukan pengiriman beras RASKIN.

Tabel 2.1

Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Keterangan	Penelitian			
	Yusuf, <i>et al.</i> (2011)	Nur Cahyo (2013)	Namira N (2017)	Penelitian yang akan dilakukan
Tujuan Penelitian	Menentukan rute alternatif pengiriman pupuk yang dapat meminimasi biaya transportasi dari sistem awal perusahaan ada	Mendapatkan selisih biaya yang dikeluarkan perusahaan sebelum dan sesudah diketahuinya alokasi jalur distribusi yang optimal	Menghasilkan penjadwalan pengiriman yang optimal sesuai dengan tenggat waktu yang telah ditetapkan oleh perusahaan	Mendapatkan biaya transportasi yang minimum untuk pengiriman bahan material dengan mengoptimalkan jumlah armada truk yang tersedia
Objek Penelitian	PT. Sriwidjaja Pupuk	PT. Madubaru PG-PS Madukismo	Perum BULOG Sub Divre Surabaya Utara	Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol-Pasuruan
Metode Penelitian	<i>Mixed Integer Linear Programming</i>	<i>Linear Programming</i>	<i>Integer Programming</i>	<i>Mixed Integer Linear Programming</i>

2.2 Transportasi

Transportasi merupakan suatu sistem yang biasa digunakan oleh perusahaan ataupun produsen dalam pelaksanaan pendistribusian produk dari pabrik ke gudang ataupun agen penyaluran distribusi lainnya.

2.2.1 Pengertian dan Fungsi Transportasi

Menurut Dimiyati dan Dimiyati (2004), transportasi membahas masalah pendistribusian suatu komoditas atau produk dari sejumlah sumber (*supply*) ke sejumlah tujuan (*destination, demand*) dengan tujuan meminimumkan ongkos pengangkutan yang terjadi.

Persoalan transportasi membahas masalah pendistribusian suatu komoditas atau produk dari sejumlah sumber *supply* kepada sejumlah tujuan (*destination demand*) dengan tujuan meminimalkan ongkos pengiriman yang terjadi. Ciri-ciri khusus persoalan transportasi ini adalah:

1. Terdapat sejumlah sumber dan sejumlah tujuan tertentu.
2. Kuantitas komoditas atau barang didistribusikan dari setiap sumber dan yang diminta setiap tujuan, besarnya tertentu.
3. Komoditas yang dikirim atau diangkut dari suatu sumber ke suatu tujuan, besarnya sesuai dengan permintaan dan kapasitas sumber.
4. Ongkos pengangkutan komoditas dari suatu sumber ke suatu tujuan, besarnya tertentu.

Fungsi transportasi itu sendiri adalah untuk mengangkut penumpang dan/atau barang dari satu tempat ke tempat lain. Transportasi adalah suatu ilmu yang mempunyai banyak kaitannya dengan ilmu-ilmu lain seperti manajemen, pemasaran, pembangunan, ekonomi, UU dan kebijaksanaan pemerintah.

Menurut Dimiyati dan Dimiyati (2004), sistem yang digunakan untuk mengangkut barang-barang dengan menggunakan alat angkut tertentu dinamakan moda transportasi (*mode of transportation*). Dalam pemanfaatan transportasi terdapat tiga moda yang dapat digunakan, yaitu:

1. Pengangkutan melalui laut
2. Pengangkutan melalui darat
3. Pengangkutan melalui udara

Menurut Dimiyati dan Dimiyati (2004), dalam transportasi banyak digunakan model analisis jaringan yang bertujuan meminimumkan ongkos transportasi. Penggunaannya telah berkembang pesat, seiring dengan berkembangnya disiplin ilmu penelitian operasional. Analisis jaringan menjadi alat yang cukup ideal dalam permodelan matematis sebagai bidang ilmiah dan teknik karena mempunyai sifat-sifat yang umum dan sederhana juga bisa digunakan perhitungan-perhitungan secara digital.

2.2.2 Metode Transportasi

Menurut Dwijanto yang dikutip dari Syarifudin, metode transportasi adalah suatu metode yang digunakan untuk mengatur distribusi dari sumber-sumber yang menyediakan produk yang sama atau sejenis ke tempat tujuan secara optimal. Distribusi ini dilakukan sedemikian rupa sehingga permintaan dari beberapa tempat tujuan dapat dipenuhi dari beberapa tempat asal yang masing-masing dapat memiliki permintaan atau kapasitas yang berbeda-beda. Dengan menggunakan metode transportasi dapat diperoleh suatu alokasi distribusi barang yang dapat meminimalkan total biaya transportasi.

Suatu perusahaan memerlukan pengelolaan data dan analisis kuantitatif yang akurat, cepat serta praktis dalam penggunaannya. Dalam perhitungan secara manual membutuhkan waktu yang lebih lama sementara pertimbangan efisiensi waktu dalam perusahaan sangat diperhatikan.

2.3 *Mixed Integer Linear Programming*

Mixed Integer Linear Programming (MILP) merupakan teknik riset operasional (*operation research technique*) yang telah dipergunakan secara luas dalam berbagai jenis masalah manajemen (Gaspersz, 2004). *Mixed Integer Linear Programming* memakai suatu model matematis untuk menggambarkan masalah yang dihadapi. Kata sifat (linier) ini memiliki arti bahwa semua fungsi matematis dalam model ini harus merupakan fungsi-fungsi linier. Kata pemrograman dalam konteks ini adalah sebuah sinonim dari kata perencanaan. *Mixed integer linear programming* merupakan bagian dari model *linear programming* dengan adanya karakteristik tambahan yang berupa beberapa atau semua variabel keputusannya bernilai *integer* (Hillier, F. & G. Lieberman, 1994).

2.3.1 *Komponen Model Mixed Integer Linear Programming*

Dalam bukunya yang berjudul *Introduction to Operation Research*, Lieberman dan Hillier (1994) menyatakan bahwa model *mixed integer linear programming* memiliki tiga komponen utama, yaitu:

1. Fungsi Tujuan (*Objective Function*)

Fungsi tujuan adalah fungsi yang menggambarkan tujuan/sasaran dari dalam permasalahan *mixed integer linear programming* yang berkaitan dengan pengaturan secara optimal sumber daya-sumber daya untuk mencapai hasil yang optimal.

2. Fungsi Pembatas (*Constraint Function*)

Fungsi pembatas merupakan bentuk penyajian secara matematis batasan-batasan kapasitas yang tersedia yang akan dialokasikan secara optimal ke berbagai kegiatan.

3. Variabel Keputusan (*Decision Variables*)

Variabel keputusan merupakan aspek dalam model yang dapat dikendalikan. Nilai variabel keputusan merupakan alternatif yang mungkin dari fungsi linier.

2.3.2 *Bentuk Baku Model Mixed Integer Linear Programming*

Secara matematis, model umum dari *mixed integer linear programming* yang terdiri dari sekumpulan variabel keputusan X_1, X_2, \dots, X_n , dirumuskan sebagai berikut (Lieberman dan Hillier, 1994):

Fungsi tujuan: Maksimasi atau Minimasi

$$Z = C_1 x_1 + C_2 x_2 + C_3 x_3 + \dots + C_n x_n$$

Kendala:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 + \dots + a_{1n}x_n \quad (\leq, =, \geq) b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 + \dots + a_{2n}x_n \quad (\leq, =, \geq) b_2$$

.

.

.

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + a_{m4}x_4 + \dots + a_{mn}x_n$$

$$\text{dan } x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, \dots, x_n \geq 0 \quad (2-1)$$

Sumber: Lieberman dan Hillier (1994)

dimana:

Z = nilai fungsi tujuan yang dimaksimumkan atau diminimumkan

n = macam batasan sumber daya atau fasilitas yang ada

m = macam aktivitas yang menggunakan sumber daya atau fasilitas

x_i = variabel keputusan

b_i = nilai maksimal sumber daya untuk dialokasikan ke aktivitas

C_i = besarnya kenaikan nilai Z setiap ada kenaikan satu satuan nilai

2.3.3 Asumsi-Asumsi *Mixed Integer Linear Programming*

Asumsi dasar yang digunakan dalam model analitis *Mixed Integer Linear Programming* adalah (Lieberman dan Hillier, 1994):

1. Proporsionalitas

Naik turunnya nilai fungsi tujuan (Z) dan penggunaan sumber daya berubah sebanding (proporsional) dengan perubahan tingkat aktivitas.

2. *Additivitas*

Aktivitas (variabel keputusan) tidak saling mempengaruhi dalam menentukan nilai fungsi tujuan sehingga nilai fungsi tujuan merupakan penjumlahan kontribusi setiap variabel keputusan atau dengan kata lain kenaikan fungsi tujuan yang diakibatkan oleh suatu aktivitas dapat ditambahkan tanpa mempengaruhi bagian nilai fungsi tujuan yang diperoleh dari aktivitas lain.

3. Deterministik

Semua parameter yang terdapat dalam model matematis (A_{ij} , C_j , b_i) dapat ditentukan dengan pasti, meskipun jarang dapat ditentukan dengan tepat.

4. *Accountability*

Sumber-sumber yang tersedia harus dapat dihitung sehingga dapat dipastikan berapa bagian yang terpakai dan berapa bagian yang masih tersisa.

5. *Linearity of Objectives*

Fungsi tujuan dan kendala-kendala harus dapat dinyatakan sebagai suatu fungsi linear.

2.3.4 Solusi Model *Mixed Integer Linear Programming*

Solusi model *mixed integer linear programming* adalah jawaban akhir dari suatu pemecahan masalah. Pada suatu model matematis, solusi dikatakan layak (*feasible solution*) jika penyelesaiannya tidak melanggar batasan-batasan yang ada. Namun jika penyelesaiannya tidak memungkinkan pada alternatif-alternatif yang layak (*feasible*), maka solusi itu dikatakan tidak layak (*no feasible solution*).

Mixed Integer Linear Programming (MILP) dapat diselesaikan dengan banyak cara, antara lain menggunakan grafik, metode eliminasi dan substitusi maupun menggunakan perangkat lunak. Perangkat lunak yang digunakan untuk memperoleh solusi model *integer linear programming*, antara lain *Excel Solver*, LINDO dan LINGO. Pada penelitian ini, perangkat lunak yang digunakan untuk membuat model yang akan dibangun yaitu LINGO 11.0.

2.4 LINGO

LINGO merupakan program komputer yang digunakan untuk aplikasi pemrograman linier. Aplikasi pemrograman linier adalah suatu pemodelan matematika yang digunakan untuk mendapatkan suatu solusi optimal dengan kendala yang ada (Harjiyanto, 2014).

LINGO adalah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah pemrograman linear, non-linear dan *integer*. LINGO sudah banyak digunakan oleh perusahaan-perusahaan untuk membantu membuat perencanaan produksi yang bertujuan untuk mendapatkan keuntungan yang optimum dan biaya yang minimum. Selain itu, LINGO juga digunakan dalam pengambilan keputusan dalam perencanaan produksi, transportasi, keuangan, alokasi saham, penjadwalan, inventarisasi, pengaturan model, alokasi daya, dan lain-lain.

LINGO telah menjadi *software* optimasi selama lebih dari 20 tahun. Sistem LINGO telah menjadi pilihan utama dalam penyelesaian yang cepat dan mudah, terutama dalam masalah optimasi persamaan matematika. Selain itu struktur bahasa yang digunakan dalam memformulasikan masalahnya sederhana, yaitu persamaan linier.

Untuk menggunakan *software* LINGO ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan, yaitu:

1. Merumuskan masalah dalam kerangka program linier
2. Menuliskan dalam persamaan matematika
3. Merumuskan rumusan ke dalam LINGO dan mengeksekusinya
4. Interpretasi keluaran LINGO



Gambar 2.1 Tampilan awal program LINGO 11.0

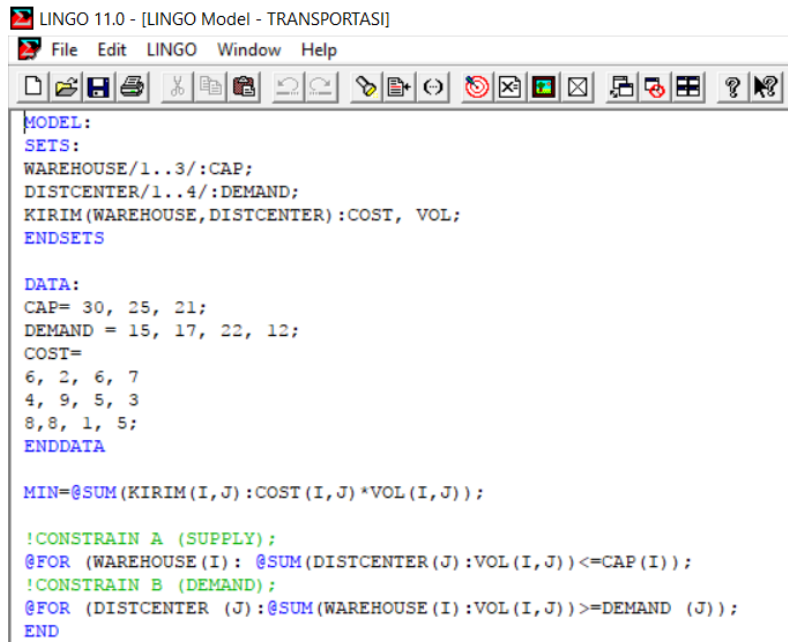
Cara untuk menginput skrip dilakukan seperti mengetik tulisan biasa, bedanya hanya terdapat pada setiap akhir perintah diakhiri dengan tanda titik koma (;). contoh skrip untuk menyelesaikan permasalahan dengan *mixed integer linear programming* sebagai berikut.

```
MODEL:
SETS:
WAREHOUSE/1..3/:CAP;
DISTCENTER/1..4/:DEMAND;
KIRIM(WAREHOUSE, DISTCENTER):COST, VOL;
ENDSETS
DATA:
CAP= 30, 25, 21;
DEMAND = 15, 17, 22, 12;
COST=
6, 2, 6, 7
4, 9, 5, 3
8, 8, 1, 5;
ENDDATA
MIN=@SUM(KIRIM(I, J):COST(I, J)*VOL(I, J));
```

```

!CONSTRAIN A (SUPPLY);
@FOR (WAREHOUSE (I) : @SUM(DISTCENTER (J) : VOL (I, J) ) <=CAP (I) );
!CONSTRAIN B (DEMAND);
@FOR (DISTCENTER (J) : @SUM(WAREHOUSE (I) : VOL (I, J) ) >=DEMAND (J) );
END

```



Gambar 2.2 Tampilan script

Untuk mengesekusi perintah dilakukan dengan menekan “Solve” pada submenu LINGO, maka hasil *output* akan dikeluarkan oleh *software* seperti Gambar 2.3.

Global optimal solution found.		
Objective value:		161.0000
Infeasibilities:		0.000000
Total solver iterations:		6
Variable	Value	Reduced Cost
CAP(1)	30.00000	0.000000
CAP(2)	25.00000	0.000000
CAP(3)	21.00000	0.000000
DEMAND(1)	15.00000	0.000000
DEMAND(2)	17.00000	0.000000
DEMAND(3)	22.00000	0.000000
DEMAND(4)	12.00000	0.000000
COST(1, 1)	6.000000	0.000000
COST(1, 2)	2.000000	0.000000
COST(1, 3)	6.000000	0.000000
COST(1, 4)	7.000000	0.000000
COST(2, 1)	4.000000	0.000000

Gambar 2.3 Output LINGO 11.0

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah tahap yang harus ditetapkan terlebih dahulu sebelum melakukan penyelesaian masalah yang sedang dibahas. Pada bab ini akan dibahas mengenai metode penelitian, tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian, metode pengumpulan data serta langkah-langkah penelitian.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan pada bulan Maret 2017 sampai dengan Desember 2017.

3.2 Tahap Pengumpulan Data

Mengumpulkan data primer dan data sekunder dari PT. Utama Karya (Persero) selaku pihak kontraktor atau pihak yang mengerjakan Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan.

3.2.1 Tahap Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian pendahuluan meliputi studi pustaka, studi lapangan, identifikasi masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian.

Berikut ini tahap penelitian pendahuluan:

1. Metode penelitian kepustakaan (*Library Research*)

Metode penelitian kepustakaan merupakan suatu metode yang digunakan untuk mendapatkan metode yang akan digunakan dengan cara studi literatur di perpustakaan serta dengan membaca sumber-sumber data informasi lainnya yang berhubungan dengan pembahasan.

2. Metode penelitian lapangan (*Field Research*)

Metode ini digunakan dalam pengumpulan data secara langsung pada objek penelitian, cara yang dipakai dalam *field research* ini adalah:

- a. *Interview*, yaitu pada tahap ini dilakukan *interview* dengan pihak kontraktor terutama kepala proyek dan pengawas lapangan.
- b. Observasi, yaitu suatu metode dalam memperoleh data, dengan mengadakan pengamatan langsung terhadap keadaan proyek yang sebenarnya.

- c. Dokumentasi, yaitu melakukan pengumpulan data baik secara langsung (foto) dan data historis perusahaan.
 - d. *Brainstroming*, yaitu berdiskusi dengan pegawai yang memiliki *job desc* dalam merencanakan biaya dan menentukan rute untuk pengiriman bahan timbunan untuk mengetahui faktor penyebab permasalahan.
3. Identifikasi Masalah
- Identifikasi masalah dilakukan berdasarkan studi lapangan terhadap objek penelitian dan studi literatur tentang permasalahan yang dihadapi. Pengamatan di lapangan dan wawancara dengan pihak kontraktor untuk dapat menentukan variabel yang berpengaruh dalam pengiriman kemudian mendefinisikan model matematis.
4. Perumusan Masalah
- Setelah mengidentifikasi masalah dengan seksama, lalu dilanjutkan dengan merumuskan masalah sesuai dengan kenyataan di lapangan.
5. Tujuan Penelitian
- Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dijabarkan. Hal ini ditujukan untuk menentukan batasan yang perlu dipahami dalam pengolaan dan analisis hasil pengukuran selanjutnya.

3.2.2 Metode Pengumpulan Data

Jenis data yang dikumpulkan terdiri atas dua jenis dengan metode pengumpulan data sebagai berikut:

1. Data Primer

Data primer diperoleh melalui pengamatan secara langsung oleh peneliti. Data primer yang dipakai dalam penelitian ini adalah data hasil wawancara dengan Bapak Ir. Sunardi, ST. selaku kepala proyek dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan Seksi II Rembang–Pasuruan dan beberapa orang di lapangan dari PT. Utama Karya (Persero) selaku pihak kontraktor dari proyek pembangunan jalan tol ini.

2. Data Sekunder

Data sekunder didapatkan dari pihak kontraktor yang dapat memberikan informasi terkait dengan penelitian. Dalam hal ini data sekunder merupakan data-data penunjang terkait pengiriman bahan timbunan. Selain data tersebut ada pula data yang akan dipergunakan antara lain:

- a. Profil perusahaan

- b. Jumlah kebutuhan timbunan di masing-masing zona proyek
- c. Jumlah truk yang tersedia
- d. Kapasitas truk yang digunakan
- e. Biaya transportasi (bahan bakar truk, makan supir, gaji supir, biaya retribusi)
- f. Jarak antar lokasi zona proyek dengan *quarry*

3.2.3 Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan metode *Mixed Integer Linear Programming* dengan menentukan formulasi matematis terlebih dahulu yang terdiri dari:

1. Penentuan *variable* keputusan, *variable* keputusan merupakan *output* yang dioptimalkan sehingga memenuhi kriteria kendala dan tujuan.
2. Penentuan fungsi tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini, fungsi tujuan dalam penelitian ini adalah minimasi biaya produksi,
3. Penentuan fungsi kendala, karena fungsi kendala menentukan batasan-batasan dari ketentuan yang sumber daya miliki.

Serta melakukan perhitungan optimasi formulasi matematis yang telah dibuat dengan *software* LINGO 11.0.

3.3 Langkah-Langkah Penelitian

Berikut ini adalah langkah – langkah penelitian yang dilakukan pada penelitian ini.

1. Tahap pendahuluan
 - a. Melakukan studi lapangan untuk mengetahui permasalahan yang ada di tempat penelitian.
 - b. Melakukan studi pustaka untuk mendukung penyusunan laporan.
 - c. Melakukan identifikasi permasalahan yang ada pada obyek penelitian.
 - d. Menentukan rumusan masalah pada penelitian yang merupakan kesimpulan dari identifikasi masalah yang dilakukan.
 - e. Menetapkan tujuan penelitian yang mana menjawab rumusan masalah yang ditentukan sebelumnya.
2. Tahap perencanaan penelitian

Membuat desain penelitian yang mengacu pada metode *Mixed Integer Linear Programming*

 - a. Mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh pada peningkatan biaya

transportasi.

- b. Menentukan hal-hal yang mungkin menyebabkan permasalahan.
3. Tahap pelaksanaan penelitian dan analisis menggunakan metode *Mixed Integer Linear Programming*.
 - a. Pelaksanaan penelitian
 - b. Pengumpulan data
 - c. Pengolahan data

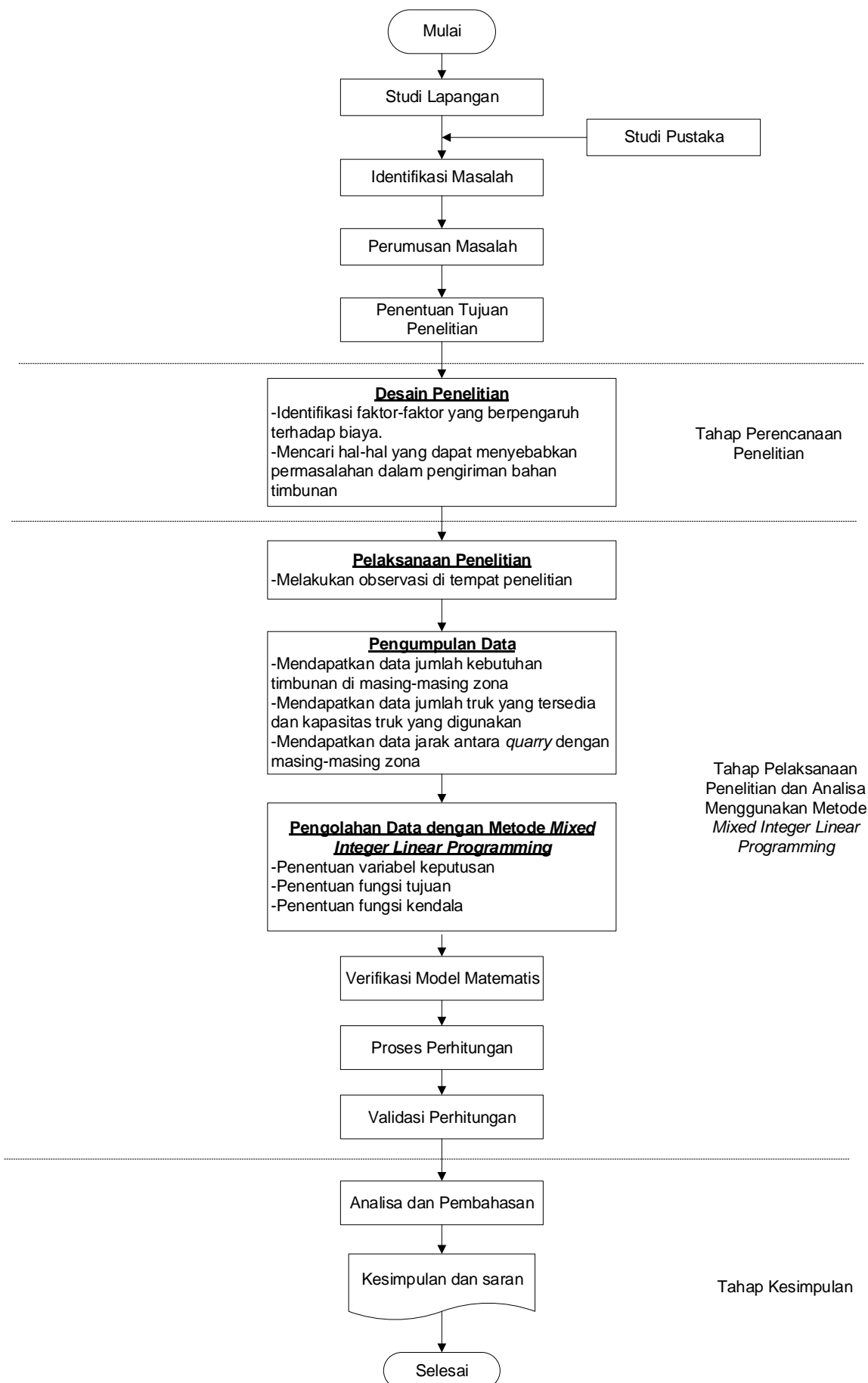
Pengolahan data yang dilakukan mengacu pada metode *Mixed Integer linear programming* yaitu sebagai berikut.

 - 1) Menentukan variabel keputusan
 - 2) Menentukan fungsi tujuan
 - 3) Menentukan fungsi kendala
 - d. Melakukan perhitungan dengan menggunakan *software* LINGO 11.0.
 - e. Tahap analisa dan pembahasan terhadap pengolahan data yang sudah dilakukan.
4. Tahap Kesimpulan

Menarik kesimpulan dengan mengacu pada tujuan penelitian yang ditentukan dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian digambarkan dalam diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. Penelitian tahap awal meliputi studi lapangan dan studi pustaka dan diakhiri pada tahap kesimpulan dan saran.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.5 Algoritma Penelitian

Berikut ini adalah algoritma dari penelitian pada permasalahan pengiriman bahan timbunan di Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan Seksi II Rembang–Pasuruan.

1. Mulai
2. Melakukan studi literatur dan studi lapangan.
3. Mengidentifikasi permasalahan yang terdapat pada obyek penelitian.
4. Merumuskan permasalahan yang telah diidentifikasi pada tahap sebelumnya.
5. Menentukan tujuan penelitian.
6. Mengumpulkan data yang berkaitan dengan permasalahan pengiriman bahan timbunan.
7. Membuat formulasi model *integer linear programming*.
8. Membuat koding formulasi model pada *software* LINGO 11.0.
9. Memverifikasi formulasi model yang dibuat.
10. Menjalankan model yang telah dibuat pada *software* komputasi.
11. Memvalidasi hasil *output* yang telah dijalankan oleh *software*.
12. Menganalisa hasil dari *output* komputasi dan membuat pembahasan terkait permasalahan yang diangkat.
13. Membuat kesimpulan berdasarkan tujuan penelitian yang telah dibuat.
14. Selesai

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas lebih lanjut mengenai rumusan masalah dan tujuan yang telah ditetapkan pada bab sebelumnya sehingga didapatkan data-data yang dibutuhkan. Data yang diperoleh akan diolah dengan menggunakan metode *Mixed Integer Linear Programming* agar diperoleh biaya yang paling optimal. Formulasi matematis yang dibuat akan diolah ke dalam aplikasi LINGO 11.0 guna menjawab permasalahan dalam rumusan masalah dan tujuan penelitian.

4.1 Gambaran Umum PT. Utama Karya (Persero)

Pada tahun 1960 merupakan tanggal transformasi PT. Utama Karya dari perusahaan swasta "*Hollandsche Beton Maatshappij*" menjadi PN. HUTAMA KARYA. Sejak fase transformasi, PN. Utama Karya telah menghasilkan karya konstruksi yang bernilai sejarah dan monumental seperti Gedung DPR/MPR RI di Senayan, Jakarta; serta Monumen Patung Dirgantara di Pancoran, Jakarta.

Menandai dimulainya teknologi beton pra-tekan di Indonesia, dimana PN. Utama Karya menjadi yang pertama kali mengenalkan sistem prategang BBRV dari Swiss. Sebagai wujud eksistensi terhadap teknologi ini PN. Utama Karya membentuk Divisi khusus prategang. Pada dekade ini pula PN. Utama Karya berubah status menjadi PT. Utama Karya (Persero).

Mengantisipasi tantangan bisnis konstruksi yang semakin berkembang dan kompetitif PT. Utama Karya kembali melakukan inovasi melalui diversifikasi usaha dengan mendirikan Unit Bisnis HakaPole yaitu Pabrik Tiang Penerangan Jalan Umum berbagai tipe dari baja bersegi delapan (Oktagonal), sekaligus melakukan ekspansi usaha di luar negeri yang menjadi awal inovasi teknologi konstruksi dengan diciptakannya LPBH-80 "SOSROBAHU" (Landasan Putar Bebas Hambatan) oleh Dr. Ir. Tjokorda Raka Sukawati.

Sejalan dengan pengembangan inovasi yang terus seiring dengan pesatnya perkembangan dan kemajuan teknologi konstruksi, PT. Utama Karya telah mampu menghasilkan produk berteknologi tinggi berupa: Jembatan Bentang Panjang (*Suspention Cable Bridge, Balanced Cantilever Bridge, Arch Steel Bridge, Cable Stayed*). Kala itu, PT. Utama Karya sukses memenuhi standar internasional dalam hal kualitas, keselamatan kerja dan lingkungan dengan didapatkannya sertifikasi ISO 9002: 1994, OHSAS 18001: 1999.

Memasuki era millennia dimana dinamika ekonomi semakin pesat, PT. Utama Karya (Persero) telah merevitalisasi diri dengan melakukan pengembangan usaha untuk sektor-sektor swasta dengan pembangunan *High Rise Building* (Bakrie Tower, Apartemen) maupun infrastruktur lainnya seperti jalan tol. Seiring dengan perkembangan tersebut, kualitas dan mutu tetap menjadi perhatian PT. Utama Karya. Hal ini terbukti dengan diraihnya ISO 9001: 2008, ISO 14001: 2004 dan OHSAS 18001: 2007.

Lepas satu dekade di era millennia, PT. Utama Karya (Persero) semakin menguatkan eksistensinya di industry konstruksi nasional. Hal ini ditandai dengan diversifikasi usaha melalui pendirian anak perusahaan dibidang pengembangan properti dan manufaktur aspal serta baja.

Pada medio 2014, PT. Utama Karya (Persero) resmi menerima penugasan Pemerintah untuk mengembangkan Jalan Tol Trans-Sumatera. Melalui Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 100 Tahun 2014 yang kemudian diperbarui menjadi Perpres Nomor 117 Tahun 2015, PT. Utama Karya (Persero) diberi amanah mengembangkan 2.770 kilometer jalan tol di Sumatera dengan prioritas 8 ruas pertama hingga tahun 2019 sepanjang 650 kilometer.

Disaat ini pula, PT. Utama Karya (Persero) kembali mendirikan anak perusahaan baru dibidang Konstruksi Infrastruktur Jalan Tol dan Jembatan untuk mendukung mandat pemerintah tersebut. Penugasan ini merupakan salah satu tonggak penting dalam sejarah perusahaan karena pada masa inilah PT. Utama Karya (Persero) mulai menuliskan sejarah barunya sebagai Pengembangan Infrastruktur Terkemuka Indonesia atau *Indonesia's Most Valuable Infrastructure Developer*.

PT. Utama Karya (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara yang bergerak dibidang konstruksi yang awalnya merupakan perusahaan swasta *Hindia Belanda Hollandsche Beton Maatschappij* yang dinasionalisasi pada tahun 1961 berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) RI No. 61/1961 Tanggal 29 Maret 1961 dengan nama PN HUTAMA KARYA. Status perusahaan berubah menjadi Perseroan Terbatas berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 14 Tahun 1971 juncto Akta Perseroan Terbatas No. 74 tanggal 15 Maret 1973, juncto Akta Perubahan No. 48 tanggal 8 Agustus 1973 yang keduanya dibuat dihadapan Notaris Kartini Mulyadi, SH.

4.1.1 Badan Usaha dan Bidang Usaha

PT. Utama Karya (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara yang bergerak dibidang konstruksi yang awalnya merupakan perusahaan swasta *Hindia Belanda Hollandsche Beton Maatschappij* yang dinasionalisasi pada tahun 1961 berdasarkan

Peraturan Pemerintah (PP) RI No. 61/1961 Tanggal 29 Maret 1961 dengan nama PN HUTAMA KARYA. Status perusahaan berubah menjadi Perseroan Terbatas berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 14 Tahun 1971 *juncto* Akta Perseroan Terbatas No. 74 tanggal 15 Maret 1973, *juncto* Akta Perubahan No. 48 tanggal 8 Agustus 1973 yang keduanya dibuat dihadapan Notaris Kartini Mulyadi, SH.

4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan

Berikut ini adalah visi dan misi dari PT. Utama Karya (Persero).

4.3.4.1 Visi PT. Utama Karya (Persero)

Visi dari PT. Utama Karya yaitu *Indonesia's Most Valuable Infrastructure Developer* #IMVID atau Menjadi Pengembang Infrastruktur Terkemuka di Indonesia.

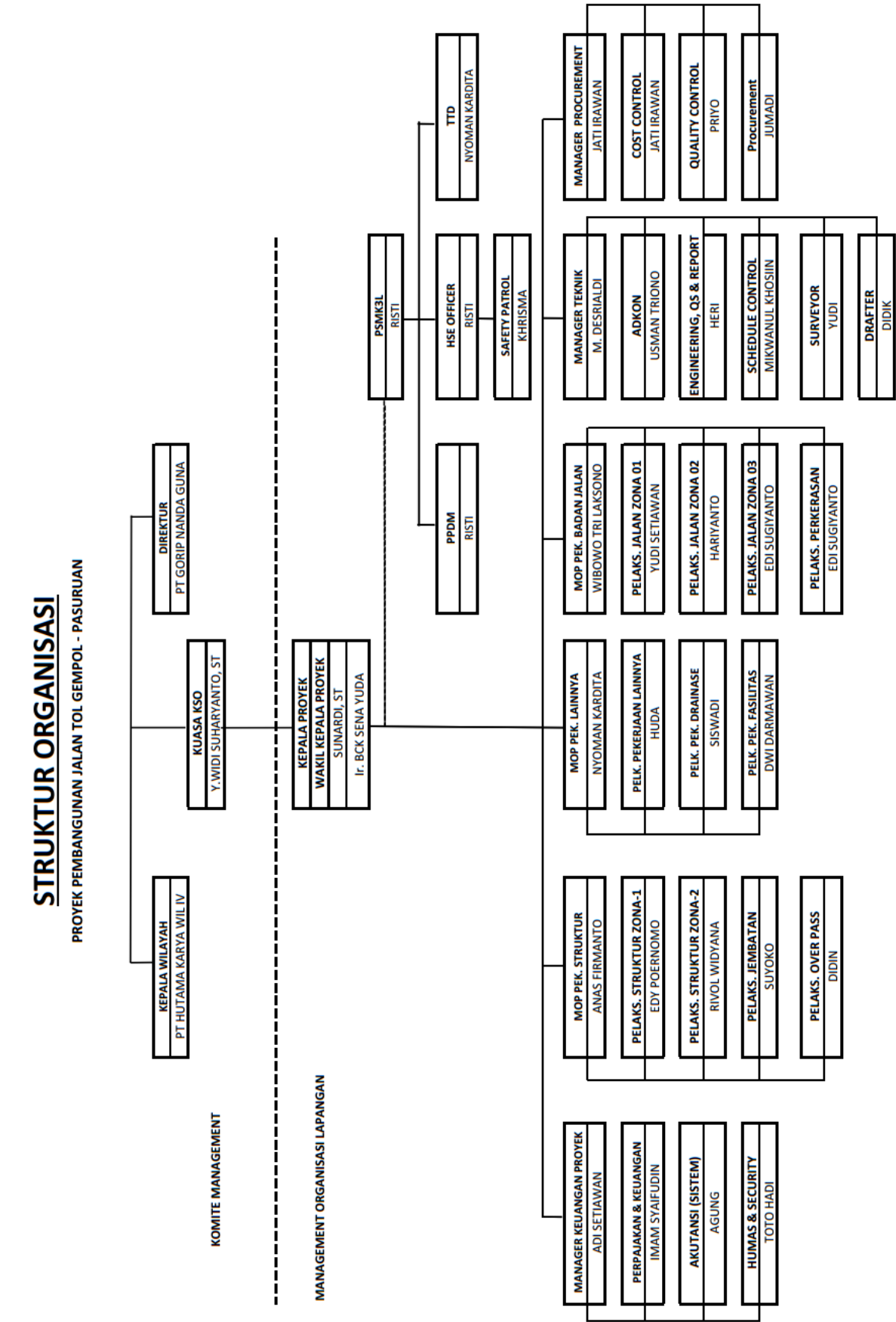
4.3.4.2 Misi PT. Utama Karya (Persero)

Misi dari PT. Utama Karya yaitu:

1. Menyukkseskan mandat pemerintah untuk membangun dan mengoperasikan Jalan Tol Trans-Sumatera.
2. Mengembangkan multi-bisnis berbasis infrastruktur melalui usaha investasi jasa, konstruksi dan manufaktur yang mampu memberikan nilai tambah premium pada korporasi dan dalam rangka mempercepat pertumbuhan perekonomian Indonesia.
3. Membangun kapasitas dan kapabilitas korporasi yang berkesinambungan melalui pemantapan *human capital* dan *financial*.

4.1.3 Organisasi dan Manajemen

Dalam menjalankan Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan, PT. Utama Karya (Persero) membentuk struktur organisasi untuk memudahkan sistem managerial. Sifat dari organisasi ini yaitu tanggung jawab berjalan dari puncak sampai ke bawah menurut garis vertikal. Berikut ini adalah struktur organisasi dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan, Jawa Timur.



Gambar 4.1 Struktur organisasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan
Sumber: Data sekunder PT. Utama Karya (Persero) (2017)

4.2 Sistem Pengiriman *Existing* PT. Utama Karya (Persero)

PT. Utama Karya (Persero) adalah salah satu perusahaan BUMN yang bergerak dibidang konstruksi. Saat ini PT. Utama Karya (Persero) tengah mengerjakan banyak proyek-proyek besar milik pemerintah, salah satunya adalah Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan tepatnya berada di Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Salah satu pekerjaan dengan bobot terbesar dalam proyek ini yaitu pekerjaan tanah timbunan sebesar 33,268%. Pada bagian ini kegiatan yang dilakukan yaitu melakukan penimbunan dengan mengambil bahan timbunan dari *quarry* yang ada di sekitar proyek menuju zona proyek yang dikerjakan. Jumlah *quarry* yang ada yaitu sebanyak empat diantaranya ada *quarry* Wonokerto, *quarry* Bulusari, *quarry* Summersuko dan *quarry* Paserepan sedangkan jumlah zona proyek ada sebanyak 3 yaitu Zona Proyek 1, Zona Proyek 2 dan Zona Proyek 3.

Proses pengiriman bahan timbunan dilakukan dengan menggunakan 350 unit truk dengan memiliki kapasitas muatan sebesar 8 m³. Pengiriman timbunan yang dilakukan oleh perusahaan saat ini yaitu dengan menggunakan keseluruhan unit armada yang tersedia untuk pengiriman dalam sehari dalam sekali jalan dari semua *quarry* dengan rute yang disesuaikan dengan permintaan atau adanya pesanan dari masing-masing zona proyek. Terkadang terjadi keterlambatan dimana bahan timbunan yang diperlukan tak kunjung datang sedangkan pekerja di zona proyek tertentu harus segera menyelesaikan target yang telah ditentukan sehingga waktu pengerjaan proyek tertunda selama beberapa waktu sampai dengan bahan timbunan yang dipesan datang.

4.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini didapatkan dari hasil mengunjungi proyek terkait yaitu Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan serta melakukan pengamatan disana. Data yang didapatkan dari perusahaan yaitu berupa data primer dari wawancara peneliti dengan pihak terkait serta data sekunder yang berasal dari PT. Utama Karya (Persero) selaku pihak kontraktor.

4.3.1 Data Zona Proyek dan Volume Dibutuhkan

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai data zona proyek dan volume yang dibutuhkan oleh masing-masing zona proyek yang ada pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan. Banyaknya zona proyek yang terbagi dalam pengerjaan jalan sepanjang $\pm 6,6$ km yaitu berjumlah 3 zona, yaitu Zona Proyek 1,

Zona Proyek 2 dan Zona Proyek 3 yang dimana masing-masing zona membutuhkan volume sebesar 403.279 m³, 500.252 m³ dan 735.912 m³ secara berturut-turut. Zona 1 akan dikerjakan mulai dari STA 13+900 sampai dengan STA 16+144, Zona 2 dikerjakan mulai dari STA 16+144 sampai dengan STA 17+420 dan Zona 3 akan dikerjakan dari STA 17+420 samai dengan STA 20+500.

4.3.2 Data Lokasi dan Kapasitas *Quarry*

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai data lokasi dan kapasitas dari tambang (*quarry*) yang digunakan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan. Total *quarry* yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan bahan timbunan pada tiap zona proyek sebanyak 4 buah, antara lain *quarry* Wonokerto dengan kapasitas 3.050.000 m³, *quarry* Bulusari dengan kapasitas 12.100.050 m³, *quarry* Sumbersuko dengan kapasitas 3.015.200 m³ dan *quarry* Paserepan dengan kapasitas 16.501.000 m³. Adapun jarak pengiriman dari *quarry* ke zona proyek masing-masing berbeda. Berikut ini rekap data jarak antara *quarry* menuju zona proyek dengan kapasitas yang tersedia dari tiap *quarry*.

Tabel 4.1

Kapasitas dan Jarak Setiap *Quarry* Terhadap Zona Proyek

No.	<i>Quarry</i>	Kapasitas (m ³)	Zona 1 (Km)	Zona 2 (Km)	Zona 3 (Km)
1.	Wonokerto	3.050.000	5	7,3	9,5
2.	Bulusari	12.100.050	23,4	28,1	29,9
3.	Sumbersuko	3.015.200	22,2	25,3	27,4
4.	Paserepan	16.501.000	26	21	19,4

Sumber: Data sekunder PT. Hutama Karya (Persero) (2017)

4.3.3 Data Kendaraan yang digunakan

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai data kendaraan angkutan yang digunakan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan. Jenis kendaraan yang digunakan oleh PT. Hutama Karya (Persero) dalam pengiriman bahan timbunan ke masing-masing zona proyek dari tiap *quarry* berjenis *Hino Dutro 130 HD Dump Truck* dengan dimensi 6.026 x 1.945 x 2.165 mm. *Dump truck* ini memiliki daya angkut sebesar 8 m³. Jumlah truk yang saat ini dimiliki oleh PT. Hutama Karya (Persero) saat ini yaitu sebanyak 350 unit dimana setiap truk ini dapat berjalan dengan kecepatan rata-rata 40 km/jam dalam setiap menempuh perjalanan.

4.3.4 Data Operasional Pengiriman

Pada bagian ini akan dijelaskan data terkait dengan sistem operasional pengiriman bahan timbunan. Data ini meliputi jam operasional pengiriman yang berlaku, baik jam kerja supir truk dan jam diperbolehkan truk berada di area proyek. Jam kerja supir truk dimulai pukul 08.00–18.00 WIB dan jam diperbolehkan truk berada dilokasi proyek yaitu dimulai pukul 08.00–18.00 WIB. Untuk data waktu *loading* dan waktu *unloading* dari bahan timbunan ini sendiri pada penelitian ini diabaikan.

4.3.5 Data Biaya-Biaya Transportasi

Pada bagian ini akan dijelaskan data terkait dengan biaya-biaya yang dikeluarkan untuk transportasi pengiriman bahan timbunan. Data ini meliputi biaya pengiriman bahan timbunan dari *quarry* asal menuju zona proyek yang dituju seperti pada Tabel 4.2. Selain itu ada juga biaya makan supir untuk setiap kali perjalanan atau setiap ritase sebesar Rp. 15.000,00, biaya gaji supir truk untuk setiap kali pengiriman sebesar Rp. 25.000,00 dan biaya retribusi sebesar Rp. 25.000,00.

Tabel 4.2

Biaya Pengiriman Bahan Timbunan dari *Quarry* Menuju Zona Proyek

No.	<i>Quarry</i>	Zona 1 (Rp)	Zona 2 (Rp)	Zona 3 (Rp)
1.	Wonokerto	5.150	7.519	9.785
2.	Bulusari	24.102	28.943	30.797
3.	Sumbersuko	22.866	26.059	28.222
4.	Paserepan	26.780	21.630	19.982

Sumber: Data sekunder PT. Utama Karya (Persero) (2017)

4.4 Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data ini akan dilakukan perhitungan menggunakan *software* LINGO 11.0 yang nantinya *output* dari hasil perhitungan ini akan dilakukan analisa lebih lanjut. Sebelum dilakukan analisa akan dilakukan verifikasi dan validasi untuk memastikan data yang digunakan telah sesuai dengan kondisi nyata dan dapat dipertanggung jawabkan. Apabila model matematis telah diverifikasi dan divalidasi maka dapat dilakukan *running* komputasi.

4.4.1 Formulasi Model *Mixed Integer Linear Programming*

Pada tahap ini akan ditampilkan model matematis dari *mixed integer linear programming* yang telah dibangun untuk menyelesaikan permasalahan pengiriman bahan

timbunan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan. Berikut adalah model matematis untuk permasalahan transportasi pada proyek ini. Variabel keputusan:

X_{ijkl} : variabel biner (0,1); bernilai 1 jika *quarry* i menuju zona proyek j dengan truk k pada ritase l melakukan pengiriman dan bernilai 0 jika tidak.

M_{ijkl} : kemampuan pengiriman bahan timbunan dari *quarry* i menuju zona proyek j dengan truk k pada ritase l .

R_k : jumlah truk yang digunakan untuk pengiriman.

Parameter dan indeks model:

S_i : kapasitas untuk bahan timbunan dari masing-masing *quarry*.

D_j : permintaan untuk bahan timbunan dari masing-masing zona proyek.

C_{ij} : Biaya pengiriman dari *quarry* i ke zona proyek j

C_m : Biaya makan supir untuk 1 kali pengiriman (ritase)

C_s : Gaji supir untuk 1 kali pengiriman (ritase)

C_r : Biaya retribusi untuk 1 truk yang terparkir di *quarry*

i : Menyatakan asal tambang/*quarry*; (1, 2, ..., a)

j : Menyatakan zona proyek; (1, 2, ..., b)

k : Menyatakan truk; (1, 2, ..., c)

l : Menyatakan ritase pengiriman; (1, 2, ..., d)

Fungsi Tujuan:

$$\text{Minimasi } Z = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d C_{ij} X_{ijkl} + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d C_m X_{ijkl} + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d C_s X_{ijkl} + \sum_{k=1}^c R_k C_r \quad (1)$$

Konstrain:

Batasan (2) menyatakan bahwa pengiriman pada satu truk hanya untuk satu kali perjalanan atau satu ritase dari sebuah *quarry* dan hanya dapat memenuhi kebutuhan untuk satu zona proyek saja.

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b X_{ijkl} \leq 1, \forall k = 1, 2, \dots, c; \forall l = 1, 2, \dots, d \quad (2)$$

Batasan (3) menyatakan kapasitas yang tersedia bagi masing-masing *quarry*.

$$\sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d X_{ijkl} \times M_{ijkl} \leq S_i, \forall i = 1, 2, \dots, a \quad (3)$$

Batasan (4) menyatakan jumlah *demand* yang diminta oleh masing-masing zona proyek.

$$\sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d X_{ijkl} \times M_{ijkl} \geq D_j, \forall j = 1, 2, \dots, b \quad (4)$$

Batasan (5) menyatakan bahwa satu truk hanya dapat melakukan pengiriman bolak-balik sebanyak empat atau dengan kata lain satu truk hanya bisa melakukan ritase sebanyak empat.

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d X_{ijkl} \leq 4, \forall k = 1, 2, \dots, c \quad (5)$$

Batasan (6) menyatakan bahwa untuk satu truk dalam satu kali pengiriman hanya dapat membawa bahan timbunan sebesar 8 m³.

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b M_{ijkl} \leq 8, \forall k = 1, 2, \dots, c; \forall l = 1, 2, \dots, d \quad (6)$$

Karena variabel keputusan X_{ijkl} merupakan variabel keputusan biner yang bernilai 0 atau 1 maka bentuk notasi matematis berikut hanya memastikan bahwa saat perhitungan variabel X_{ijkl} akan bernilai biner.

$$X_{ijkl} \in \{0,1\} \quad (7)$$

Fungsi tujuan yang disajikan pada model (1) memiliki maksud untuk meminimasi total biaya transportasi pengiriman bahan timbunan. Biaya transportasi ini terdiri dari biaya pengiriman dari *quarry* menuju zona proyek, biaya makan supir, gaji supir dan biaya retribusi. Untuk makan supir dan upah/gaji supir besarnya dihitung dalam sekali jalan atau satu ritase sehingga biaya ini ditentukan oleh banyaknya ritase yang dapat dilakukan oleh setiap supir truk sedangkan untuk biaya retribusi tergantung dengan jumlah truk yang digunakan.

Pertidaksamaan (2) menjelaskan jika pengiriman yang dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan ini menggunakan truk berkapasitas 8 m³ yang berjumlah 350 unit armada. Satu kali perjalanan untuk setiap truk hanya dapat memenuhi permintaan untuk satu zona proyek saja yang dimana selanjutnya dinotasikan sebagai X_{ijkl} . Batasan ini, diperuntukkan bagi seluruh truk dan ritase dengan nilai tetapnya yaitu asal *quarry* dan tujuan zona proyek.

Pertidaksamaan (3) membatasi permasalahan ini yaitu terkait dengan jumlah *supply* yang dapat dilayani untuk permintaan yang ada. Masing-masing *quarry* yang ada memiliki batasannya sendiri. Pengiriman ini menggunakan *dump truck* yang berkapasitas 8 m³ selanjutnya dinotasikan sebagai M_{ijkl} . Pengiriman ini disesuaikan dengan rute perjalanan yang dilakukan masing-masing *dump truck* dimana truk hanya dapat mengantarkan ke satu tujuan saja maka dilakukan perkalian antara kapasitas truk dengan penugasan truk. Dikarenakan batasan ini diperuntukkan bagi seluruh *quarry* yang ada sehingga batasan ini ditujukan bagi seluruh i .

Pertidaksamaan (4) membatasi permasalahan ini yaitu terkait dengan jumlah *demand*

yang diminta oleh masing-masing zona proyek. Masing-masing zona proyek yang ada memiliki permintaan yang berbeda. Pengiriman ini menggunakan *dump truck* yang berkapasitas 8 m^3 selanjutnya dinotasikan sebagai M_{ijkl} . Pengiriman ini disesuaikan dengan rute perjalanan yang dilakukan masing-masing *dump truck* dimana truk hanya dapat mengantarkan ke satu tujuan saja maka dilakukan perkalian antara kapasitas truk dengan penugasan truk sama seperti pada Batasan (2). Batasan ini diperuntukkan bagi seluruh zona proyek yang ada sehingga batasan ini ditujukan bagi seluruh j .

Pertidaksamaan (5) menunjukkan Pengiriman bahan timbunan yang dilakukan oleh seluruh truk yang ditugaskan juga terbatas dengan adanya jumlah ritase yang harus dipenuhi. Setiap harinya satu unit *dump truck* hanya dapat melakukan perjalanan sebanyak empat kali bolak-balik ini berlaku bagi seluruh armada truk yang digunakan maka batasan ini ditujukan bagi seluruh k .

Pertidaksamaan (6) memastikan bahwa kapasitas yang boleh diangkut oleh truk maksimal berjumlah m^3 . Variabel yang berpengaruh dalam batasan ini yaitu dari truk dan ritase sehingga batasan ini ditujukan bagi seluruh k dan seluruh l .

Pertidaksamaan (7) dibuat karena variabel keputusan X_{ijkl} merupakan variabel keputusan biner yang bernilai 0 atau 1 maka bentuk notasi matematis berikut hanya memastikan bahwa saat perhitungan variabel X_{ijkl} akan bernilai biner.

4.4.2 Formulasi Model pada LINGO 11.0

Pada penelitian ini peneliti menggunakan *software* LINGO 11.0 untuk proses perhitungannya. Setelah pada subbab sebelumnya telah melakukan pembuatan model matematis maka hal selanjutnya yang dilakukan yaitu membuat model matematis pada *software* LINGO 11.0 atau melakukan pengkodean dari formulasi yang telah ada. Pada Gambar 4.2 berikut akan ditunjukkan contoh bentuk bahasa pemrograman untuk permasalahan yang diangkat. Untuk tampilan koding LINGO 11.0 dari permasalahan transportasi yang diangkat dapat dilihat lebih jelas pada Lampiran 1.


```

!Konstrain Kapasitas Quarry;
@FOR(Quarry( I) :
    @SUM( Proyek( J) |:
        @SUM( Truk( K) :
            @SUM( Ritase( L) : X( I, J, K, L) * M( I, J, K, L)))) <= Kapasitas(I));

!Konstrain Demand Proyek;
@FOR( Proyek( J) :
    @SUM( Quarry( I) |:
        @SUM( Truk( K) :
            @SUM( Ritase( L) : X( I, J, K, L) * M( I, J, K, L)))) >= Demand(J));

!Konstrain 1 truk hanya dapat melayani 1 tujuan;
!TRUK 1;
@FOR(Ritase( L) :
    @FOR( Truk( K) :
        @SUM( Quarry( I) :
            @SUM( Proyek( J) |: X( I, J, K, L))) <= 1));

!Konstrain untuk jumlah ritase maksimum;
@FOR(Truk( K) :
    @SUM( Ritase( L) :
        @SUM( Quarry( I) :
            @SUM( Proyek( J) |: X( I, J, K, L)))) <= 4);

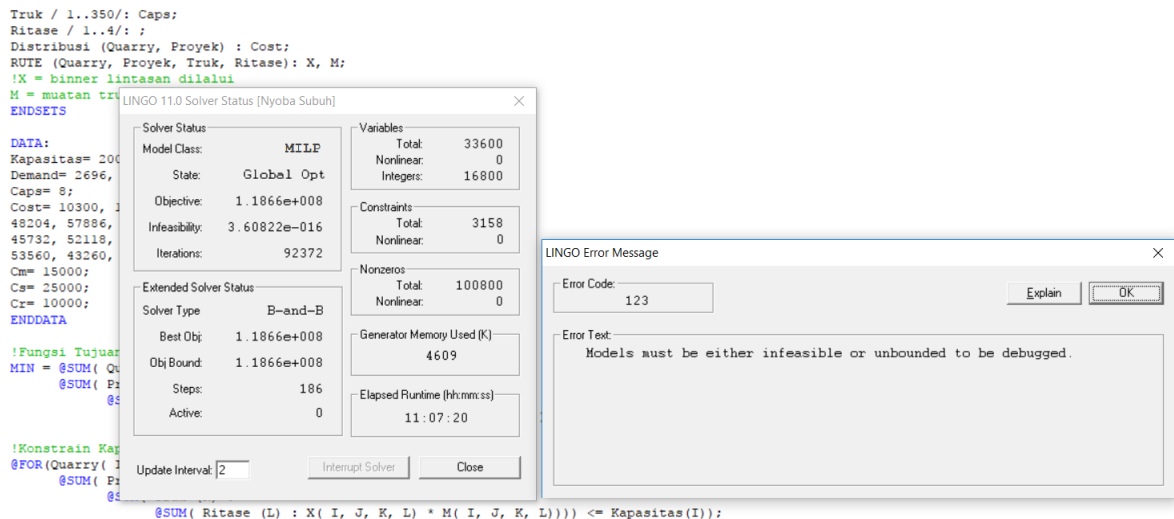
!Konstrain u/ kapasitas truk maksimal 8 m3;
@FOR( Truk( K) :
    @FOR( Ritase( L) :
        @SUM( Quarry( I) :
            @SUM( Proyek( J) |: M( I, J, K, L))) = Caps(K));

```

Gambar 4.2 Tampilan koding untuk model permasalahan pengiriman bahan timbunan

4.4.3 Verifikasi Model

Verifikasi merupakan proses membandingkan untuk mengetahui apakah model yang dibuat telah menggambarkan keadaan nyata dari sistem yang diamati. Verifikasi ini juga dilakukan untuk memastikan kembali apakah model yang dibuat sudah terbangun dengan tepat dan benar pada *software* simulasi (Banks, et al., 2004). Selain itu juga verifikasi dapat diartikan sebagai proses untuk mengetahui adanya *error* atau tidak dalam sebuah model yang telah dibuat. Pada umumnya, disetiap *software* simulasi memiliki *Interactive Run Controller* atau disingkat IRC yang merupakan sebuah *debugger* yang secara otomatis akan mengecek kebenaran terhadap model yang telah dibuat dan mengidentifikasi *error* yang ada pada model. Model dalam *software* LINGO 11.0 dikatakan terverifikasi jika ada jendela yang mengatakan bahwa model harus *infeasible* atau *unbounded* untuk dapat dikatakan *debug* atau jika di jendela pada kotak *error code* yang akan keluar adalah kode 123. Gambar 4.3 menunjukkan hasil *debug* dari model yang telah dibuat dan menunjukkan model telah layak dan memiliki solusi *global optimum*. Hasil perhitungan komputasi dapat dianalisa jika tidak ada lagi jendela peringatan yang menandai model masih terdapat kesalahan.



Gambar 4.3 Tampilan yang muncul jika tidak terdapat *error* pada model

Berdasarkan Gambar 4.3 diatas maka dapat disimpulkan bahwa hasil uji verifikasi yang dilakukan untuk model simulasi komputasi diatas sudah tidak terdapat *error* pada penelitian ini maka model perhitungan komputasi dalam penelitian ini terverifikasi dan telah dibangun dengan tepat.

4.4.4 Hasil *Running* Model

Setelah model yang dibuat telah terverifikasi dan tervalidasi maka model diartikan dapat menggambarkan sistem dari sistem nyata yang diamati. Hal selanjutnya yang dilakukan yaitu menjalankan perhitungan atau *running* komputasi dari permasalahan yang diangkat. *Running* komputasi ini dilakukan untuk mendapatkan biaya optimal dari pengiriman bahan timbunan yang dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan.

Model yang telah dibuat bertujuan untuk meminimasi biaya transportasi dengan mengoptimalkan jumlah *dump truck* yang tersedia. Pengiriman yang dilakukan selama ini dilakukan dengan menggunakan 350 unit *dump truck* dimana masing-masing truk memiliki kapasitas 8 m³. Gambar 4.4 merupakan contoh *output* dari *software* LINGO 11.0.

X(2, 1, 164, 3)	0.000000
X(2, 1, 164, 4)	0.000000
X(2, 1, 165, 1)	0.000000
X(2, 1, 165, 2)	0.000000
X(2, 1, 165, 3)	0.000000
X(2, 1, 165, 4)	0.000000
X(2, 1, 166, 1)	0.000000
X(2, 1, 166, 2)	0.000000
X(2, 1, 166, 3)	0.000000
X(2, 1, 166, 4)	1.000000
X(2, 1, 167, 1)	1.000000
X(2, 1, 167, 2)	1.000000
X(2, 1, 167, 3)	1.000000
X(2, 1, 167, 4)	1.000000
X(2, 1, 168, 1)	1.000000
X(2, 1, 168, 2)	1.000000

Gambar 4.4 Hasil *running* model pengiriman bahan timbunan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan

Untuk mempermudah pembacaan hasil *output* dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4, sedangkan untuk hasil *output* yang telah diringkas lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2 dan Lampiran 3. Contoh untuk membaca Tabel 4.3 yaitu, untuk truk 1 pengiriman dari $i = 1$ (*quarry* Wonokerto) menuju $j = 1$ (zona proyek 1) pada ritase ke $l = 1, 2, 3, 4$ bernilai secara berturut-turut 0, 0, 0, 0, berarti truk 1 untuk pengiriman bahan timbunan dari *quarry* Wonokerto menuju zona proyek 1 pada ritase ke 1 tidak terjadi pengiriman bahan timbunan, pada ritase 2 tidak terjadi pengiriman bahan timbunan, pada ritase 3 tidak terjadi pengiriman bahan timbunan dan pada ritase ke 4 tidak terjadi pengiriman bahan timbunan.

Tabel 4.3

Output Software LINGO 11.0 Untuk Variabel X_{ijkl}

Truk	$i = 1, j = 1, l = 1, 2, 3, 4$	$i = 1, j = 2, l = 1, 2, 3, 4$	$i = 1, j = 3, l = 1, 2, 3, 4$	$i = 2, j = 1, l = 1, 2, 3, 4$	$i = 2, j = 2, l = 1, 2, 3, 4$	$i = 2, j = 3, l = 1, 2, 3, 4$	$i = 3, j = 1, l = 1, 2, 3, 4$	$i = 3, j = 2, l = 1, 2, 3, 4$	$i = 3, j = 3, l = 1, 2, 3, 4$	$i = 4, j = 1, l = 1, 2, 3, 4$	$i = 4, j = 2, l = 1, 2, 3, 4$	$i = 4, j = 3, l = 1, 2, 3, 4$
1	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	1, 1, 0, 1	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 1, 0
2	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 1, 1, 1
3	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 1, 0, 1	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	1, 0, 1, 0
...
350	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0

Contoh untuk membaca Tabel 4.4 dibawah yaitu, untuk truk 1 pengiriman dari $i = 3$ (*quarry* Summersuko) menuju $j = 2$ (zona proyek 2) pada ritase ke $l = 1, 2, 3, 4$ bernilai secara

berturut-turut 8, 8, 0, 8, berarti truk 1 untuk pengiriman bahan timbunan dari *quarry* Summersuko menuju zona proyek 2 pada ritase ke 1 akan membawa pengiriman bahan timbunan sebesar 8 m³, pada ritase 2 akan membawa pengiriman bahan timbunan sebesar 8 m³, pada ritase 3 truk tidak akan membawa bahan timbunan dikarenakan tidak terjadi keberangkatan untuk pengiriman bahan timbunan dan pada ritase ke 4 akan membawa pengiriman bahan timbunan sebesar 8 m³.

Tabel 4.4

Output Software LINGO 11.0 Untuk Variabel M_{ijkl}

Truk	$i=1, j=1, l=1,2,3,4$	$i=1, j=2, l=1,2,3,4$	$i=1, j=3, l=1,2,3,4$	$i=2, j=1, l=1,2,3,4$	$i=2, j=2, l=1,2,3,4$	$i=2, j=3, l=1,2,3,4$	$i=3, j=1, l=1,2,3,4$	$i=3, j=2, l=1,2,3,4$	$i=3, j=3, l=1,2,3,4$	$i=4, j=1, l=1,2,3,4$	$i=4, j=2, l=1,2,3,4$	$i=4, j=3, l=1,2,3,4$
1	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	8, 8, 0, 8	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 8, 0
2	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	8, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 8, 8, 8
3	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 8, 0, 8	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	8, 0, 8, 0
...
350	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0

Berikut ini akan dijelaskan mengenai hasil dari *running* program komputasi untuk permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini.

1. Total Biaya Transportasi Pengiriman Bahan Timbunan

Pada perhitungan komputasi yang telah dilakukan, variabel biaya yang dimasukkan diantaranya yaitu biaya pengiriman dari *quarry* menuju zona proyek, biaya makan supir, biaya retribusi dan gaji supir. Perhitungan yang dilakukan ini hanya untuk 1 hari kerja, hal ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan peneliti terhadap pengkodean dengan menggunakan *software* LINGO 11.0. Dari hasil perhitungan pada LINGO 11.0 didapatkan biaya optimal pada pengiriman bahan timbunan ini sebesar Rp. 112.877.822,00 per hari. Berdasarkan fungsi tujuan pada formulasi total biaya transportasi (TBT) terdiri dari biaya pengiriman bahan timbunan, biaya makan supir, gaji supir dan biaya retribusi, maka perhitungannya akan menjadi seperti berikut.

$$\text{TBT} = ((\text{biaya pengiriman bahan timbunan}) + (\text{jumlah truk digunakan} \times \text{jumlah ritase} \times \text{Rp. 25.000,00}) + (\text{jumlah truk digunakan} \times \text{jumlah ritase} \times \text{Rp. 30.000,00}) + (\text{jumlah truk} \times \text{Rp. 25.000,00})) \times 150 \text{ hari}$$

$$TBT = (\text{Rp. } 118.660.000,00) \times 150$$

$$TBT = \text{Rp. } 17.799.000.000,00$$

Sehingga, total biaya transportasi pada pengiriman bahan timbunan berdasarkan perhitungan peneliti yaitu sebesar Rp. 17.799.000.000,00.

2. Penentuan Rute Pengiriman Bahan Timbunan

Terlihat pada Gambar 4.4 bahwa hasil dari *running* komputasi dari permodelan yang dibuat memiliki solusi optimum yang menandakan semua *dump truck* teralokasikan, selanjutnya dapat diketahui kombinasi penugasan truk yang dapat meminimasi biaya transportasi dari Tabel 4.3. Pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa pada truk 1 atau baris 1 pada kolom $i = 3, j = 2, l = 1, 2, 4$ dan $i = 4, j = 3, l = 3$ terdapat nilai 1 yang berarti terdapat penugasan pengiriman bahan timbunan. Berikut adalah gambaran dari rekap hasil *running* komputasi untuk penentuan rute pengiriman bahan timbunan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan.

Tabel 4.5

Rute Pengiriman Bahan Timbunan Untuk Masing-Masing Truk

Truk ke-	Ritase	Quarry	Zona Proyek	Truk ke-	Ritase	Quarry	Zona Proyek
1	1	Sumbersuko	2	342	1	Paserepan	2
	2	Sumbersuko	2		2	Paserepan	2
	3	Paserepan	3				
	4	Sumbersuko	2				
2	1	Sumbersuko	2	...			
	2	Paserepan	3				
	3	Paserepan	3				
	4	Paserepan	3				
...				350			

Dari Tabel 4.5 dapat diketahui rute pengiriman bahan timbunan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan yang dapat meminimasi biaya transportasi. Contohnya untuk truk 1 pada pengiriman pertama atau ritase 1 truk akan berangkat dari *quarry* Sumbersuko menuju zona proyek 2 kemudian setelah selesai menurunkan muatan truk 1 atau untuk melakukan ritase kedua, truk 1 akan kembali menuju *quarry* Sumbersuko untuk mengambil muatan kembali dan mengirimkannya ke zona proyek 2. Selesai menurunkan muatan truk 1 akan pergi menuju *quarry* Paserepan dan mengirimkan ke zona proyek 3 begitu seterusnya sampai pada ritase keempat truk 1 akan berangkat dari *quarry* Sumbersuko menuju zona proyek 2. Untuk *output* lengkap dari hasil *running* tersebut dapat dilihat pada Lampiran 4.

4.4.5 Validasi Model

Validasi model merupakan cara untuk melakukan pengecekan terhadap model matematis apakah sudah dapat merepresentasikan secara akurat dari sistem nyata yang dimodelkan. Validasi model ini dilakukan dengan membandingkan data *output* dari hasil perhitungan komputasi dengan *software* LINGO 11.0 terhadap data yang telah diperoleh dari pihak PT. Utama Karya (Persero) atau selaku kontraktor dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan. Tahap validasi dilakukan untuk membuktikan secara nyata jika data perhitungan komputasi dengan *software* sesuai dengan data dari pihak kontraktor maka model matematis yang dibuat dapat dinyatakan tervalidasi.

Dalam penelitian ini, cara validasi yang dilakukan yaitu dengan membandingkan kapasitas *quarry* yang ada apakah mencukupi atau tidak kemudian membandingkan nilai *demand* apakah sudah terpenuhi atau belum dan terakhir menghitung biaya total transportasi apakah hasilnya mengurangi dari *existing* atau tidak. Berikut merupakan hasil perhitungan dari masing-masing perbandingan yang digunakan pada data hasil perhitungan komputasi.

1. Membandingkan Kapasitas *Quarry*

Pada perhitungan komputasi kapasitas *quarry* yang tertera yaitu sebesar 20.000, 80.000, 20.000 dan 110.000 secara berturut-turut untuk *quarry* Wonokerto, *quarry* Bulusari, *quarry* Sumbersuko dan *quarry* Paserepan. Dikarenakan perhitungan yang dilakukan hanya untuk dijalankan dalam satu hari sedangkan durasi pengerjaan proyek ini selama 150 hari, maka kapasitas *quarry* ini perlu dikalikan dengan 150, sehingga hasilnya akan seperti berikut:

- a. *Quarry* Wonokerto : $150 \times 20.000 \text{ m}^3 = 3.000.000 \text{ m}^3$
- b. *Quarry* Bulusari : $150 \times 80.000 \text{ m}^3 = 12.000.000 \text{ m}^3$
- c. *Quarry* Sumbersuko : $150 \times 20.000 \text{ m}^3 = 3.000.000 \text{ m}^3$
- d. *Quarry* Paserepan : $150 \times 110.000 \text{ m}^3 = 16.500.000 \text{ m}^3$

Setelah mengetahui kapasitas total dari *quarry* yang ada untuk perhitungan komputasi kemudian dibandingkan dengan kapasitas nyata dari masing-masing *quarry* yang ada seperti pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6
Perbandingan Kapasitas Masing-Masing *Quarry*

	Kapasitas Hasil Komputasi (m ³)	Kapasitas Kondisi Nyata (m ³)
<i>Quarry</i> Wonokerto	3.000.000	3.050.000
<i>Quarry</i> Bulusari	12.000.000	12.100.050
<i>Quarry</i> Sumbersuko	3.000.000	3.015.200
<i>Quarry</i> Paserepan	16.500.000	16.501.000

Berdasarkan Tabel 4.6 diatas maka dapat disimpulkan bahwa kapasitas hasil perhitungan komputasi masih dibawah dari kapasitas riil di lapangan. Kemudian perlu juga kita membandingkan hasil dari rute pengiriman bahan timbunan dengan kapasitas *quarry* di sistem nyata. Hasil dari penyusunan kombinasi rute pengiriman bahan timbunan yang didapatkan dari *output* LINGO 11.0 maka didapatkan jumlah penugasan pengiriman bahan timbunan berdasarkan asal *quarry* menuju zona proyek mana saja yang dilayani seperti Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7

Jumlah Keberangkatan atau Pelayanan yang Dilakukan

<i>Quarry</i>	Zona Proyek	Jumlah Pengiriman
<i>Quarry Wonokerto</i>	2	91
<i>Quarry Bulusari</i>	1	337
<i>Quarry Sumbersuko</i>	2	230
<i>Quarry Paserepan</i>	2	96
	3	614

Jumlah pengiriman yang berada pada Tabel 4.7 didapatkan dari hasil penjumlahan semua penugasan yang dilakukan oleh truk k pada ritase ke l yang berangkat dari *quarry* i menuju zona proyek j . *Dump truck* yang digunakan pada pengiriman ini memiliki kapasitas sebesar 8 m^3 dan proyek ini berjalan selama 150 hari maka jumlah pengiriman pada Tabel 4.7 dikalikan dengan 8 m^3 dan 150 hari dan kemudian dijumlahkan untuk *quarry* yang sama sehingga hasil perhitungan akan seperti berikut.

Tabel 4.8

Perbandingan Kapasitas *Quarry* Hasil Perhitungan dan Kondisi Nyata

<i>Quarry</i>	Zona Proyek	Jumlah Pengiriman	Kapasitas Pengiriman (m^3)	Kapasitas Total Pengiriman dalam sehari (m^3)	Kapasitas Kondisi Nyata (m^3)
<i>Quarry Wonokerto</i>	2	91	109.200	109.200	3.050.000
<i>Quarry Bulusari</i>	1	337	404.400	404.400	12.100.050
<i>Quarry Sumbersuko</i>	2	230	276.000	276.000	3.015.200
<i>Quarry Paserepan</i>	2	96	115.200	852.000	16.501.000
	3	614	736.800		

Berdasarkan hasil perhitungan yang terdapat pada Tabel 4.8 mengenai variabel kapasitas *quarry* dapat diketahui bahwa adanya perbedaan kapasitas yang digunakan dengan kapasitas yang tersedia dimana selisih diantara keduanya cukup berbeda jauh sehingga dapat dikatakan kapasitas *quarry* secara keseluruhan mencukupi dari permintaan dari masing-masing zona proyek yang ada.

2. Membandingkan *Demand* Zona Proyek

Seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, hasil *running* model untuk perhitungan komputasi yang dilakukan ini hanya untuk satu hari kerja maka *demand* yang digunakan merupakan permintaan minimal harian berturut-turut untuk tiap zona proyek yaitu 2.696 m³, 3.336 m³ dan 4.912 m³. Dapat dilihat pada Tabel 4.7 sebelumnya jumlah pengiriman harian dari masing-masing *quarry* seperti yang terdapat pada tabel tersebut dan untuk setiap pengiriman yang dilakukan dengan menggunakan *Dump truck* dengan kapasitas 8 m³ sehingga diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9

Perbandingan *Demand* Hasil Perhitungan dan Kondisi Nyata

Zona Proyek	Quarry	Jumlah Pengiriman	<i>Demand</i> Perhitungan Harian (m ³)	<i>Demand</i> Total Harian (m ³)	<i>Demand</i> Nyata Harian (m ³)
1	Bulusari	337	2.696	2.696	2.696
2	Wonokerto	91	728	3.336	3.336
	Sumbersuko	230	1.840		
	Paserepan	96	768		
3	Paserepan	614	4.912	4.912	4.912

Dari Tabel 4.8 dapat disimpulkan bahwa *demand* harian dari setiap zona proyek sudah terpenuhi setiap harinya sehingga dapat dikatakan pula untuk *demand* total keseluruhan proyek untuk durasi pengerjaan selama 150 hari dapat pasti akan terpenuhi seluruhnya.

3. Membandingkan Perhitungan Biaya Total Transportasi

Berdasarkan hasil perhitungan pada sub bab sebelumnya total biaya transportasi dari perhitungan komputasi menggunakan *software* LINGO 11.0 untuk pengerjaan proyek selama 150 hari didapatkan hasil sebesar Rp. 17.799.000.000,00 sedangkan total biaya transportasi yang diperoleh dari data pihak PT. Utama Karya (Persero) selaku kontraktor yaitu sebesar Rp. 18.935.566.650,00. Dari sini dapat dilihat bahwa total biaya transportasi hasil perhitungan komputasi dengan menggunakan *software* LINGO 11.0 berada dibawah dari nilai biaya transportasi yang dialokasikan oleh pihak PT. Utama Karya (Persero) selaku kontraktor Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan sehingga dapat dikatakan hasil perhitungan komputasi yang dilakukan oleh LINGO 11.0 ini memberikan hasil yang logis.

4.5 Analisis dan Pembahasan

Pada penelitian ini pengolahan data yang dilakukan untuk menentukan jumlah truk yang optimal dan menentukan rute pengiriman bahan timbunan yang dapat meminimasi biaya oleh PT. Utama Karya (Persero) selaku pihak kontraktor dari Proyek Pembangunan Jalan

Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan dilakukan menggunakan metode *mixed integer linear programming* dengan bantuan *software* komputasi LINGO 11.0. Pengerjaan dari permasalahan ini dilakukan dalam beberapa tahap diantaranya yaitu memodelkan sistem kedalam formulasi matematis, mengonversi formulasi matematis kedalam bahasa pemrograman LINGO 11.0, melakukan verifikasi dari model matematis yang telah dibuat, menjalankan program perhitungan LINGO 11.0, melakukan validasi dari program yang telah dibuat dan terakhir melakukan analisa dari hasil yang telah didapatkan.

Kondisi *existing* dari pengiriman bahan timbunan yang digunakan oleh PT. Utama Karya (Persero) yaitu dengan mengerahkan seluruh armada yang ada sebanyak 350 unit dan proses pengiriman yang dilakukan tidak mempertimbangkan jarak tempuh secara sistematis pada semua rute. Dampak yang paling dirasakan dari proses pengiriman bahan timbunan seperti saat ini yaitu terjadi keterlambatan dimana bahan timbunan yang diperlukan tak kunjung datang sedangkan pekerja di zona proyek tertentu harus segera menyelesaikan target yang telah ditentukan sehingga waktu pengerjaan proyek tertunda selama beberapa waktu sampai dengan bahan timbunan yang dipesan datang selain itu juga hal ini berdampak pada membengkaknya pengeluaran hanya untuk pengiriman bahan timbunan dari keseluruhan pengerjaan proyek yang ada. Untuk menyelesaikan permasalahan ini digunakan metode *mixed integer linear programming* (MILP). *Mixed integer linear programming* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk melakukan optimasi dari suatu permasalahan.

Langkah pertama penyelesaian dalam penelitian ini yaitu memodelkan permasalahan sistem kedalam bentuk formulasi matematis. Pembuatan formulasi matematis ini dipengaruhi oleh beberapa variabel diantaranya variabel biner yang digunakan sebagai variabel keputusan apakah truk k pada ritase l melakukan pengiriman atau tidak dan apakah truk i pada ritase j dari *quarry* k menuju zona proyek l melakukan pengiriman atau tidak. Selain itu juga ada variabel kemampuan pengiriman bahan timbunan dari *quarry* i menuju zona proyek j dengan truk k pada ritase l , kemampuan pengiriman dari *quarry* i ke zona proyek j , kapasitas untuk bahan timbunan dari masing-masing *quarry* dan permintaan untuk bahan timbunan dari masing-masing zona proyek kemudian model matematis ini akan diselesaikan dengan menggunakan *software* LINGO 11.0. Model yang dibuat dalam penelitian ini diperuntukkan untuk permasalahan yang dijalankan dalam satu hari. Faktor yang tidak diamati dalam laporan ini adalah menentukan waktu *loading & unloading* barang saat di *quarry* maupun saat tiba di zona proyek, adanya perubahan permintaan sewaktu-waktu yang terjadi pada masing-masing zona proyek dan mengabaikan faktor-faktor eksternal yang menghambat pengiriman bahan timbunan seperti hujan, cuaca buruk, dan

demonstrasi pekerja. Sehingga pada asumsi model yang dibuat telah dituliskan bahwa waktu *loading & unloading* diabaikan, *dump truck* yang digunakan selalu *ready*, tidak terjadi perubahan permintaan dari masing-masing zona proyek dan penelitian ini mengabaikan faktor-faktor eksternal yang menghambat pengiriman bahan timbunan seperti hujan, cuaca buruk, dan demonstrasi pekerja.

Berdasarkan hasil *running* program pada sub bab sebelumnya diketahui pada rute pengiriman barang secara keseluruhan terdapat perbedaan yang sangat menonjol diantara keduanya, dimana rute perjalanan masing-masing truk yang sebelumnya truk berangkat sesuai dengan permintaan atau adanya pesanan dari masing-masing zona proyek sedangkan rute usulan yang dilakukan memastikan seluruh truk digunakan dan melakukan pengiriman dimana pengiriman yang dilakukan dapat meminimasi biaya yang dikeluarkan selain itu, jumlah *dump truck* yang digunakan antara kondisi *existing* dengan hasil perhitungan komputasi terdapat perbedaan dimana pada kondisi *existing* jumlah truk yang digunakan sebanyak 350 unit armada truk sedangkan hasil perhitungan komputasi didapatkan jumlah truk yang digunakan sebanyak 342 unit truk. Jika pada kondisi *existing* seluruh truk yang digunakan akan diparkirkan pada *quarry* terakhir yang telah didatanginya, jadi misalkan truk terakhir mengirimkan bahan timbunan dari *quarry* Summersuko menuju zona proyek 2 maka supir truk akan memarkirkan kembali truknya pada *quarry* Summersuko dan berdasarkan hasil rekomendasi dari ke-342 truk yang digunakan oleh pihak kontaktor jumlah truk yang dapat ditaruh pada masing-masing *quarry* dan ke-8 yang tidak digunakan oleh pihak kontraktor dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.10

Penempatan Truk Pada Masing-Masing *Quarry* dan yang Tidak digunakan

Tempat Penempatan	Jumlah Truk yang ditaruh/diparkir
<i>Quarry</i> Wonokerto	24 truk
<i>Quarry</i> Bulusari	85 truk
<i>Quarry</i> Summersuko	58 truk
<i>Quarry</i> Paserepan	183 truk
Total Truk	350 truk

Dari Tabel 4.9 pada dapat diketahui bahwa jumlah truk yang dapat ditaruh atau diparkirkan pada *quarry* Wonokerto sebanyak 24 truk, untuk *quarry* Bulusari sebanyak 85 truk, untuk *quarry* Summersuko sebanyak 58 truk, untuk *quarry* Paserepan sebanyak 183 truk. Penempatan ini didasarkan pada keberangkatan awal masing-masing *dump truck* setiap harinya ke masing-masing zona proyek yang telah ditentukan dalam proses pengiriman bahan timbunan yang dilakukan oleh pihak kontraktor dengan *allowance* truk *ready* disetiap *quarry* diasumsikan banyaknya sama.

Berdasarkan *output* perhitungan komputasi yang telah dijalankan didapatkan total biaya sebesar Rp. 118.660.000,00. Pada hasil perhitungan ini model yang dibuat diperuntukkan untuk perjalanan model dalam satu hari. Dikarenakan proyek yang dilakukan selama 150 hari maka hasil dari perhitungan yang telah dilakukan dikalikan dengan 150 hari sehingga total biaya transportasi yang dihasilkan dari perhitungan komputasi yaitu sebesar Rp. 17.799.000.000,00 sedangkan nilai biaya pengiriman bahan timbunan yang ditetapkan oleh pihak PT. Utama Karya (Persero) sebesar Rp. 18.935.566.650,00.

Tabel 4.11

Perbandingan Antara Kondisi *Existing* dengan Hasil Rekomendasi

Perbandingan Antara Kondisi Existing dengan Hasil Rekomendasi			
Kondisi Diamati	Jumlah Truk Digunakan	Rute Perjalanan	Total Biaya
Existing	350	Tidak menentu setiap harinya (d disesuaikan dengan permintaan harian)	Rp. 18.935.566.650,00
Rekomendasi	342	Truk 1 : (Sumbersuko → Zona 2; Sumbersuko → Zona 2; Paserepan → Zona 3; Sumbersuko → Zona 2)	Rp. 17.799.000.000,00
		Truk 2 : (Sumbersuko → Zona 2; Paserepan → Zona 3; Paserepan → Zona 3; Paserepan → Zona 3)	
		...	
		Truk 342: (Paserepan → Zona 2; Paserepan → Zona 2)	
Biaya Reduksi			Rp. 1.136.566.650,00

Biaya penghematan yang dapat dilakukan untuk penelitian ini jika PT. Utama Karya (Persero) selaku pihak kontraktor menerapkan rute usulan yang diberikan berdasarkan dari Tabel 4.11 yaitu sebesar Rp. 1.136.566.650,00 atau jika diubah menjadi persentase didapat penghematan biaya pengiriman bahan timbunan sebesar 6,39%. Dengan adanya rute usulan yang lebih optimal diharapkan PT. Utama Karya (Persero) dapat menekan biaya pengeluaran terkait biaya transportasi pengiriman bahan timbunan. Angka ini terbilang cukup kecil untuk ukuran proyek dengan total nilai kontrak sebesar Rp. 417.800.000.000, meskipun nilai penghematan yang diberikan tidak terlalu besar namun dengan biaya sebesar Rp. 1.136.566.650,00 ini PT. Utama Karya (Persero) selaku pihak kontraktor dapat memanfaatkan biaya tersebut untuk dialokasikan pada keperluan lainnya yang dapat menunjang keberlangsungan Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan baik itu untuk biaya pembelian peralatan, bahan baku proyek maupun biaya operasional sehari-hari.

Adapun hasil penentuan rute rekomendasi dan jumlah truk digunakan yang dapat meminimasi biaya transportasi pengiriman bahan timbunan dapat dilihat pada Tabel 4.3,

Tabel 4.4, dan Tabel 4.5 yang selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 2, 3 dan 4. Penyelesaian model menggunakan metode *linear programming* dengan bantuan *software* komputasi LINGO 11.0 dapat menjamin bahwa rute usulan yang terbentuk pada setiap pengiriman sehingga dapat meminimasi jumlah truk yang digunakan memiliki hasil yang optimal dalam meminimalkan biaya pengiriman bahan timbunan yang dilakukan untuk Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan.

BAB V

PENUTUP

Pada bagian penutup akan dibahas mengenai kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran yang diperlukan untuk penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian dan pengolahan data menggunakan metode *Mixed Integer Linear Programming* dengan bantuan *software* optimasi LINGO 11.0 adalah sebagai berikut.

1. Pembuatan formulasi matematis dari model permasalahan pengiriman bahan timbunan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan yang dibuat dalam penelitian ini yaitu untuk penyelesaian masalah pengiriman bahan timbunan yang dilakukan secara harian. Salah satu variabel yang berpengaruh dalam formulasi ini yaitu banyaknya penggunaan jumlah truk yang dapat dilakukan untuk pengiriman setiap harinya. Pada kondisi *existing* jumlah truk yang digunakan adalah sebanyak 350 armada truk dan pada hasil perhitungan komputasi menggunakan *software* LINGO 11.0 mendapatkan jumlah truk optimal yang dapat meminimasi biaya pengiriman bahan timbunan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan sebesar 342 armada truk yang dioperasikan.
2. Dalam penelitian ini rute pengiriman bahan timbunan yang dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Gempol–Pasuruan, Seksi II Ruas Rembang–Pasuruan merupakan hal yang sangat vital terhadap hasil akhir yang ingin diketahui yaitu terkait total biaya transportasi yang dapat dihasilkan. Pada kondisi *existing* pengiriman bahan timbunan yang dilakukan oleh PT. Utama Karya (Persero) yaitu ternyata hal ini dirasa tidak efektif, maka setelah melakukan perhitungan komputasi dengan *software* LINGO 11.0 didapatkan *trajectory* yang dapat meminimasi biaya transportasi dari untuk 350 truk dengan 4 ritase pengiriman dalam sehari. Contoh dari salah satu *trajectory* truk untuk truk 1 pada pengiriman pertama atau ritase 1 truk akan berangkat dari *quarry* Summersuko menuju zona proyek 2 kemudian setelah selesai menurunkan muatan truk 1 atau untuk melakukan ritase kedua, truk 1 akan kembali menuju *quarry* Summersuko untuk mengambil muatan kembali dan mengirimkannya ke zona proyek

2. Selesai menurunkan muatan, truk 1 akan pergi menuju *quarry* Paserepan dan mengirimkan ke zona proyek 3 begitu sampai pada ritase keempat truk 1 akan berangkat dari *quarry* Summersuko menuju zona proyek 2.
3. Hasil perhitungan komputasi dengan *software* LINGO 11.0 didapatkan *output* perhitungan komputasi yang telah dijalankan didapatkan total biaya sebesar Rp. 118.660.000,00. Pada hasil perhitungan ini model yang dibuat diperuntukkan untuk permasalahan dalam satu hari, dikarenakan proyek yang dilakukan selama 150 hari maka hasil dari perhitungan yang telah dilakukan dikalikan dengan 150 hari sehingga total biaya transportasi yang dihasilkan dari perhitungan komputasi yaitu sebesar Rp. 17.799.000.000,00 sedangkan nilai biaya pengiriman bahan timbunan yang ditetapkan oleh pihak PT. Utama Karya (Persero) sebesar Rp. 18.935.566.650,00. Biaya penghematan yang dapat dilakukan untuk penelitian ini jika PT. Utama Karya (Persero) menerapkan rute usulan yang diberikan yaitu sebesar Rp. 1.136.566.650,00 atau jika diubah menjadi persentase didapat penghematan biaya pengiriman bahan timbunan sebesar 6,39%.

5.2 Saran

Berikut ini saran yang dapat diberikan untuk penelitian-penelitian sejenis kedepannya.

1. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dirancang model optimasi pengiriman yang juga memperhatikan waktu *loading/unloading* dari muatan yang dibawa baik saat akan dinaikkan maupun saat diturunkan dari truk pengangkut.
2. Dalam penentuan jumlah truk yang digunakan dapat menambahkan variabel biaya terkait biaya transportasi seperti biaya *maintenance*, biaya depresiasi, biaya bunga investasi, biaya ban, biaya *over head* dan biaya lainnya agar hasil yang didapat lebih optimal.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan untuk penyajian data lokasi asal maupun tujuan dengan menggunakan bantuan sistem informasi agar penentuan jarak lebih tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Azi, N. *et al.* 2007. An Exact Algorithm for a Single-Vehicle Routing Problem With Time Windows and Multiple Routes. *European Journal of Operational Research* 178 Page 755-766.
- Banks, J., Carson, J. S. II, Nelson, B. L., & Nicol, D. M.. 2004. *Discrete-Event System Simulation Fourth Edition*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Dimiyati, T.T. & Dimiyati, A. 2004. *Operations Research: Model-Model Pengambilan Keputusan*. Bandung: Sinar Baru Algensindo.
- Gaspersz, Vincent. 2004. *Production Planning and Inventory Control*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Umum.
- Harjiyanto, Tri. 2014. Aplikasi Model Goal Programming Untuk Optimisasi Produksi Aksesoris (Studi Kasus: PT. Kosama Jaya Banguntapan Bantul). *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Jurusan Pendidikan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hillier, Frederic S. & Lieberman, J. Gerald. 1994. *Introduction to Operation Research*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Nurmalatya, Namira. 2017. Optimasi Penentuan Jumlah Truk dan Penjadwalan Pengiriman Beras RASKIN dengan Data Penunjang Dari Sistem Informasi Geografis (SIG) Pada Perum BULOG Sub Divre Surabaya Utara. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Syarifudin, Akhmad. 2011. Optimalisasi Masalah Transportasi dan Aplikasinya dengan Program Solver di Bagian Distribusi PT Nyonya Meneer Semarang. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
- Wibawa, Nur Cahyo Ari. 2013. Optimalisasi Distribusi Gula Pasir Menggunakan Metode Linear Programming Pada PT. Madubaru PG-PS Madukismo. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Program Studi Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Yusuf Priyandari, *et al.* 2011. Penentuan Rute Pengiriman Pupuk Urea Bersubsidi di Karanganyar. *Jurnal Teknik Industri*. Vol. 13 No. 1: hal. 11-18.

Halaman ini sengaja dikosongkan